
DIPLOMARBEIT

Herr Ing.
Deshprim Krasniqi

**Wirtschaftlichkeitsanalyse
einer optimalen Beleuchtung
in Schulen mit Hilfe
der Investitionsrechnung**

Wiener Neustadt, 2016

DIPLOMARBEIT

**Wirtschaftlichkeitsanalyse
einer optimalen Beleuchtung
in Schulen mit Hilfe
der Investitionsrechnung**

Autor:

Ing. Deshprim Krasniqi

Studiengang:

Wirtschaftsingenieurwesen

Seminargruppe:

KW12wNA-F

Erstprüfer:

Prof. Dr. Dr. h. c. Hartmut Lindner

Zweitprüfer:

Prof. Mag. Erich Greistorfer

Einreichung:

Mittweida, Mai 2016

Verteidigung/Bewertung:

Wiener Neustadt, Juli 2016

DIPLOMA THESIS

Profitability analysis of an optimum illumination in schools using investment appraisal

Author:

Eng. Deshprim Krasniqi

Course of studies:

Industrial Engineering

Seminar group:

KW12wNA-F

First examiner:

Prof. Dr. Dr. h. c. Hartmut Lindner

Second examiner:

Prof. Mag. Erich Greistorfer

Submission:

Mittweida, May 2016

Defence/Evaluation:

Wiener Neustadt, July 2016

Bibliografische Beschreibung:

Krasniqi, Deshprim:

Wirtschaftlichkeitsanalyse einer optimalen Beleuchtung in Schulen mit Hilfe der Investitionsrechnung. – 2016. – 98 Seiten.

Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen

Diplomarbeit, 2016

Referat:

Diese Arbeit behandelt Möglichkeiten der Lichtplanung und Beleuchtung in Schulen. Besonderes Augenmerk wird auf ökonomische, ökologische, normative sowie technische Faktoren gelegt. In typischen Beispielen werden verschiedene Beleuchtungslösungen gezeigt und miteinander verglichen. Das Ergebnis soll eine Empfehlung hinsichtlich einer optimalen Beleuchtung sein.

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	10
Abkürzungsverzeichnis	11
1 Einleitung	12
1.1 Aufgabenstellung	12
1.2 Normative Vorgaben	12
1.3 Arbeitswissenschaftliche Faktoren	13
1.4 Ökonomische Faktoren	13
1.5 Technische Faktoren	15
1.6 Biologische Faktoren	16
1.7 Gestaltungsmöglichkeiten in der Planung	17
2 Grundlagen	18
2.1 Grundbegriffe	18
2.2 Arbeitswissenschaftliche Grundlagen	21
2.3 Wirtschaftswissenschaftliche Grundlagen	25
2.3.1 Zweck der Investitionsrechnung	25
2.3.2 Verfahren der Investitionsrechnung	27
2.3.3 Kostenvergleichsrechnung	28
2.3.4 Beispiel einer Kostenvergleichsrechnung	29
3 Schuleinrichtungen	35
3.1 Raumtypen und normative Anforderung an die Beleuchtung	35
3.2 Unterrichtsräume	37
3.2.1 Im Einsatz befindliche, konventionelle Beleuchtung	37
3.2.2 Optimale Beleuchtung	39
3.2.3 Systemvergleich	44
3.3 Korridore	46

3.3.1	Konventionelle Beleuchtung	46
3.3.2	Optimale Beleuchtung	46
3.3.3	Systemvergleich	50
3.4	Nassräume.....	51
3.4.1	Konventionelle Beleuchtung	51
3.4.2	Optimale Beleuchtung	51
3.4.3	Systemvergleich	53
3.5	Besprechungszimmer	54
3.5.1	Konventionelle Beleuchtung	54
3.5.2	Optimale Beleuchtung	54
3.5.3	Systemvergleich	56
4	Ökonomische Betrachtung.....	57
4.1	Typische Schuleinrichtung – Annahmen	57
4.2	Ökonomische Faktoren	58
4.3	Unterrichtsräume	59
4.3.1	Ökonomische Bewertung: LED-System	59
4.3.2	Ökonomische Bewertung: Konventionelles System	61
4.3.3	Ökonomische Bewertung: Vergleich der Systeme.....	63
4.4	Korridore	65
4.4.1	Ökonomische Bewertung: LED-System – ovale Lichtverteilung	65
4.4.2	Ökonomische Bewertung: LED-System – sym. Lichtverteilung	66
4.4.3	Ökonomische Bewertung: Konventionelles System	67
4.4.4	Ökonomische Bewertung: Vergleich der Systeme.....	68
4.5	Nassräume.....	71
4.5.1	Ökonomische Bewertung: LED-System	71
4.5.2	Ökonomische Bewertung: Konventionelles System	72
4.5.3	Ökonomische Bewertung: Vergleich der Systeme.....	74
4.6	Besprechungszimmer	76

4.6.1	Ökonomische Bewertung: LED-System	76
4.6.2	Ökonomische Bewertung: Konventionelles System	77
4.6.3	Ökonomische Bewertung: Vergleich der Systeme.....	79
4.7	Zusammenfassung der ökonomischen Betrachtung	81
5	Conclusio	83
5.1	Kennzeichen konventioneller Technologien.....	83
5.2	Kennzeichen der LED-Technologie	86
5.3	Notwendigkeit und Wertigkeit einer Lichtplanung	89
5.4	Ausblick und Empfehlungen für Schulen und öffentliche Einrichtungen ..	91
6	Zusammenfassung	92
	Literaturverzeichnis	94
	Selbstständigkeitserklärung	98

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel für mögliche Energieeinsparung	14
Abbildung 2: Tageslichtähnliche Beleuchtung.....	16
Abbildung 3: Spektrale Verteilung der Lichtquellen.....	20
Abbildung 4: Fehler in Bezug auf die Beleuchtungsstärke	22
Abbildung 5: Sehleistung und Fehler in Bezug auf die Beleuchtungsstärke	23
Abbildung 6: Subjektive Wachheit.....	24
Abbildung 7: Arten von Investitionen.....	25
Abbildung 8: Verfahren der Investitionsrechnung.....	27
Abbildung 9: Vergleich der Systeme: Gesamtkosten auf 20 Jahre	33
Abbildung 10: Vergleich der Systeme: jährliche Kosten.....	34
Abbildung 11: Typische (höherwertige) Beleuchtung	37
Abbildung 12: Typische Beleuchtung.....	38
Abbildung 13: Lageplan der Leuchten im Unterrichtsraum	40
Abbildung 14: Wandfluter und Symbolbild der Leuchte.....	40
Abbildung 15: Abgehängte Leuchte und Symbolbild der Leuchte.....	41
Abbildung 16: 3D Renderings	42
Abbildung 17: Beispiel für einen Taster.....	43
Abbildung 18: Einbaudownlight mit ovaler Lichtverteilung und Symbolbild	47
Abbildung 19: Einbaudownlight mit sym. Lichtverteilung und Symbolbild	48
Abbildung 20: 3D Renderings – typischer Korridor – ovale Lichtverteilung.....	48
Abbildung 21: 3D Renderings – typischer Korridor – sym. Lichtverteilung.....	49
Abbildung 22: 3D Rendering – typische Toilette	52
Abbildung 23: 3D Rendering – Besprechungsraum	55
Abbildung 24: Vergleich der Systeme: Gesamtkosten auf 20 Jahre	63
Abbildung 25: Vergleich der Systeme: jährliche Kosten.....	64
Abbildung 26: Vergleich der Systeme: Gesamtkosten auf 20 Jahre	68
Abbildung 27: Vergleich der Systeme: jährliche Kosten.....	69
Abbildung 28: Vergleich der Systeme: Gesamtkosten auf 20 Jahre	74
Abbildung 29: Vergleich der Systeme: jährliche Kosten.....	75
Abbildung 30: Vergleich der Systeme: Gesamtkosten auf 20 Jahre	79
Abbildung 31: Vergleich der Systeme: jährliche Kosten.....	80
Abbildung 32: Marktanteile von LED	81

Abbildung 33: Prognose des Preisverfalls von LED-Systemen	82
---	----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ökonomische Bewertung: LED-System	29
Tabelle 2: Ökonomische Bewertung: Konventionelles System	31
Tabelle 3: Ökonomische Bewertung: LED-System	59
Tabelle 4: Ökonomische Bewertung: konventionelles System	61
Tabelle 5: Ökonomische Bewertung: LED-System 1	65
Tabelle 6: Ökonomische Bewertung: LED-System 2	66
Tabelle 7: Ökonomische Bewertung: konventionelles System	67
Tabelle 8: Ökonomische Bewertung: LED-System	71
Tabelle 9: Ökonomische Bewertung: konventionelles System	72
Tabelle 10: Ökonomische Bewertung: LED-System	76
Tabelle 11: Ökonomische Bewertung: konventionelles System	77

Abkürzungsverzeichnis

°	Grad
bzw.	beziehungsweise
ca.	Circa
cd	Candela
cd/m ²	Candela pro Quadratmeter
cm	Zentimeter
d.h.	das heißt
EG	Europäische Gemeinschaft
EN	Europäische Norm
etc.	et cetera
LCC	Life-Cycle-Costing
h	Stunden
Hrsg.	Herausgeber
IR	Infrarot
K	Kelvin
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunden
LED	Light Emitting Diode
Lm	Lumen
lt.	laut
lx	Lux
m	Meter
nm	Nanometer
Nr.	Nummer
S.	Seite
sym.	symmetrisch
u.a.	unter anderem
u.U.	unter Umständen
UV	Ultraviolett
Vgl.	vergleiche
W	Watt
z.B.	zum Beispiel

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

Diese Diplomarbeit befasst sich mit der Beleuchtungssituation in Schulen. Anhand typischer Räume wird die aktuell im Einsatz befindliche Beleuchtung mit einer für den jeweiligen Bereich optimalen Beleuchtung verglichen.

Das Optimum soll durch Beachtung von normativen, lichttechnischen, elektrotechnischen und ökonomischen Faktoren eruiert werden.

Weiters sollen Erkenntnisse in Bezug auf Wirtschaftlichkeit, Energieverbrauch, Wartung und Effizienz gewonnen werden.

Das Ergebnis dieser Arbeit soll verschiedene Handlungsempfehlungen in Bezug auf lichttechnische, ökonomische und ökologische Faktoren aufzeigen.

1.2 Normative Vorgaben

Vom Gesetzgeber sind durch Normen Werte für die Beleuchtungsstärke sowie die Gleichmäßigkeit vorgegeben. Die Norm EN 12464-1 regelt Arbeitsplätze in Innenräumen, womit auch Schulen behandelt werden. Diese Vorgaben müssen in jedem Fall eingehalten werden.

Die vorgegebenen Werte sagen jedoch selbst nichts über Faktoren wie Atmosphäre, Angemessenheit oder Güte der Beleuchtung aus.

1.3 Arbeitswissenschaftliche Faktoren

Eine geeignete und angemessene Beleuchtung ermöglicht es Menschen, Sehaufgaben effektiv und genau durchzuführen. Die erforderlichen Werte für Beleuchtungsstärke, Gleichmäßigkeit und Blendung sind für den Bereich der Sehaufgabe und Tätigkeit herzustellen.

Zudem sollte die Beleuchtung die Möglichkeit der Anpassung bieten, dies wird beispielsweise durch Lichtkreise bzw. Dimmung ermöglicht. Gibt es in einem Unterrichtsraum normalen Unterricht mit Einsatz der Tafel, ist sicherlich eine andere Einstellung optimal als bei einer Präsentation mit Hilfe eines Beamers (projizierte Fläche, im Normalfall im Bereich der Tafel, sollte in diesem Fall dunkler sein).

1.4 Ökonomische Faktoren

Eine wirtschaftliche Beleuchtung ist dann gegeben, wenn das erforderliche Lichtniveau zur erforderlichen Zeit im Einsatz ist. In Anbetracht des gegebenen Budgets ist eine angemessene Technologie zu wählen. Neben der Beleuchtungstechnologie ist der Einsatz von Präsenzmeldern (Anwesenheitssensoren) sehr empfehlenswert.

Die Miteinbeziehung des Tageslichtes wird empfohlen und ist auf Grund des großen Einsparpotenzials sehr sinnvoll. Hierzu ist jedoch eine „Steuerung“ des Tageslichtes notwendig, sodass einzig diffuses Licht in die Schulräume eindringt und die Blendung in Grenzen gehalten wird.

Die Kosten eines Beleuchtungssystems werden in der lichttechnischen Branche oft mit der Kostenvergleichsrechnung berechnet, daher wird diese Methode auch in dieser Arbeit bei der ökonomischen Betrachtung herangezogen. Bei dieser Methode werden in der Praxis neben den Anschaffungskosten auch die nach der Anschaffung anfallenden Kosten betrachtet, wie beispielsweise die Energie- und Wartungskosten.

Die Anschaffungskosten eines LED-Systems sind im Normalfall höher als die einer konventionellen Beleuchtung, durch niedrigere Energie- und Wartungskosten kann der Zeitpunkt jedoch rasch erreicht werden, ab dem das LED-System wirtschaftlich vorteilhafter ist.

Bei der Neuanschaffung einer Beleuchtungsanlage ist die mögliche Energieeinsparung besonders interessant. Trotz des Einsatzes eines konventionellen Beleuchtungssystems ist eine große Energieeinsparung möglich, sofern nutzbare Potenziale ausgeschöpft werden.

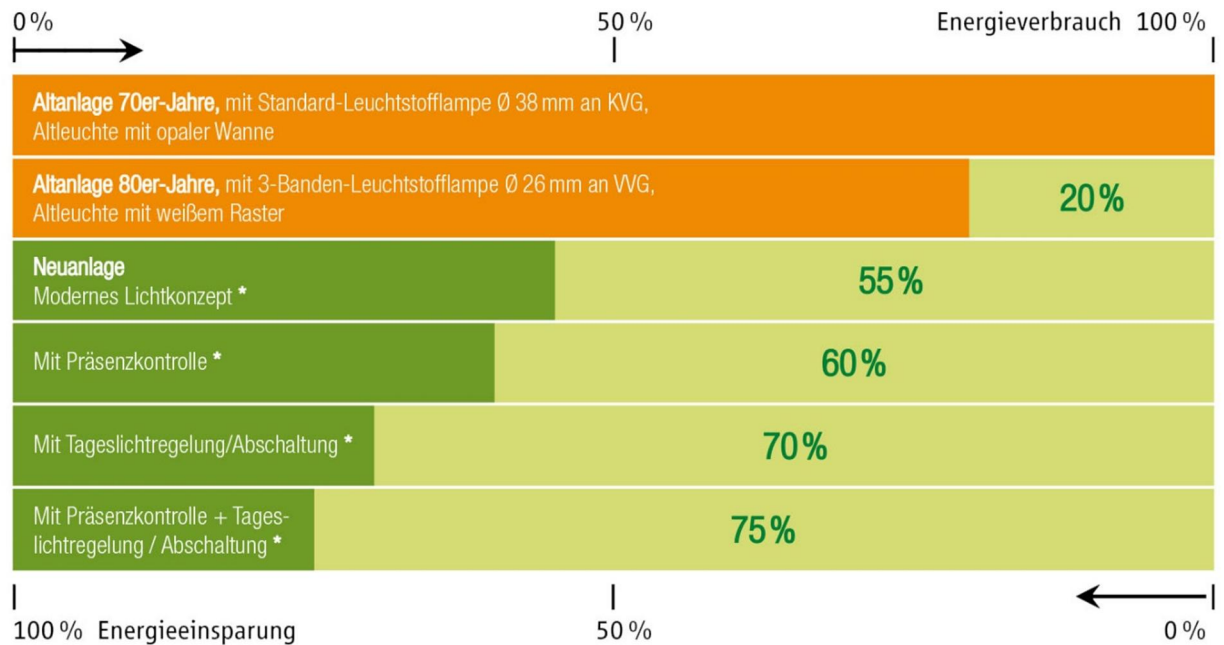


Abbildung 1: Beispiel für mögliche Energieeinsparung

Quelle: Lichtwissen 02 – Besser lernen mit gutem Licht, licht.de, 2012

In dieser vorliegenden Arbeit werden moderne Beleuchtungssysteme verglichen, und es wird versucht, das ökonomische und lichttechnische Optimum zu finden.

Durch den zusätzlichen Einsatz von Präsenzmeldern und einer Tageslichtregelung wäre eine weitere Energieeinsparung um ca. 20 % möglich.¹

¹ Vgl. Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2012. S. 19.

1.5 Technische Faktoren

Innovative und moderne Technologien bieten viele Vorteile, diese müssen jedoch von Fachleuten auf Richtigkeit überprüft werden. Im Bereich der Beleuchtung ist die LED-Technologie (Leuchtdiode – Light Emitting Diode) der aktuelle Stand der Technik.

Die propagierten Vorteile:

- Lange Lebensdauer
- Hohe Effizienz
- Gerichtetes Licht der Lichtquelle(n)
- Unbegrenzt schaltbar
- Keine UV/IR-Strahlung
- Gute Farbsättigung / Farbwiedergabe

Neben der Lichtquelle selbst ist auch auf andere Faktoren zu achten, beispielsweise:

Ist die

- gewählte Lichtverteilung
- Montageart der Leuchte
- Leistung der Leuchte
- Lichtfarbe
- Einstellbarkeit
- etc.

optimal für die Beleuchtungsaufgabe?

1.6 Biologische Faktoren

Der Mensch ist auf einen Tag- und Nachtzyklus eingestellt, die Sonne gibt uns über die spektrale Verteilung des Lichtes (Lichtfarbe) und die Intensität den Ablauf vor.

In Innenräumen sind wir teilweise von diesem Zyklus abgekapselt. Die künstliche Beleuchtung geht bisher auch auf Grund der beschränkten technischen Möglichkeiten nicht auf diesen Zyklus ein.

Durch den Einsatz einer variabel einstellbaren Lichtfarbe wäre eine Imitation des Tageslichts möglich, womit man Einfluss auf die Effizienz und Produktivität und auch auf den biologischen Rhythmus (circadianer Rhythmus) nehmen könnte.

„Eine tageslichtähnliche Beleuchtung mit nicht-visueller Wirkung ist nur tagsüber sinnvoll (blaue Kurve). In der Nacht, in den Abend- und frühen Morgenstunden ist dagegen biologisch nur gering wirksames Licht richtig. So werden biologische Abläufe im Körper, wie zum Beispiel der abendliche Anstieg des Hormons Melatonin (orange), nicht gestört.“²

Circadiane Beleuchtung

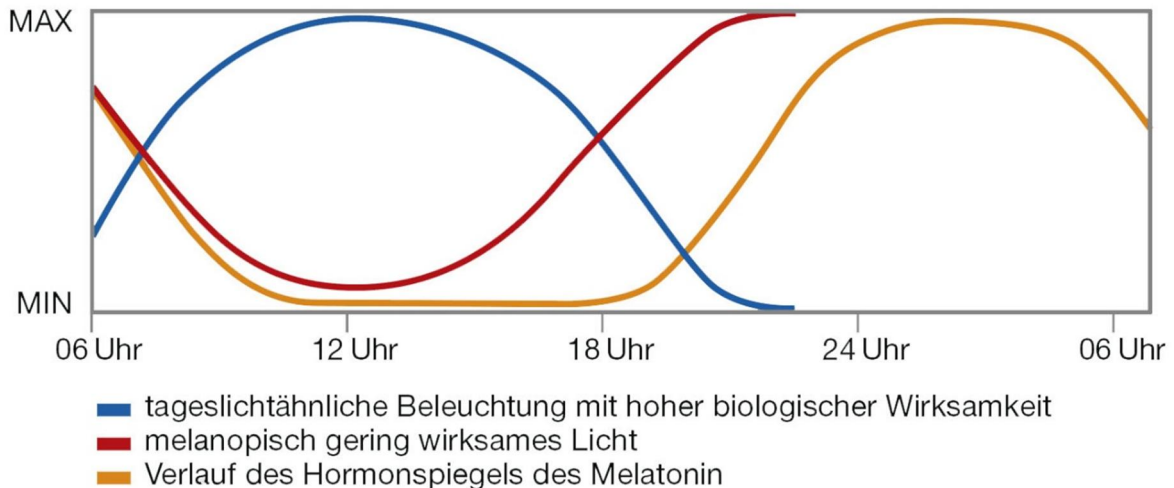


Abbildung 2: Tageslichtähnliche Beleuchtung

Quelle: Lichtwissen 19 – Wirkung des Lichts auf den Menschen, licht.de, 2014

² Vgl. Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2012. S. 19.

1.7 Gestaltungsmöglichkeiten in der Planung

Die Lichtplanung muss neben den technischen und normativen Vorgaben auch Faktoren wie Atmosphäre und Komfort einbeziehen. Neben der Auswahl des Leuchtensystems und der Lichtquelle ist auch auf die Positionierung zu achten. Die Lichtplanung kann neben der technisch einfachsten und typischerweise eingesetzten Lösung auch andere Systeme vorschlagen und somit eigenständige Lösungen finden.

Des Weiteren lassen sich durch fachliches Know-How optimale Lösungen finden. Die Beleuchtung eines Unterrichtszimmers lässt sich beispielsweise über ein einziges Leuchtensystem (z.B. Deckeneinbaudownlights) lösen. Optimal wäre es jedoch, wenn die Beleuchtung auf die verschiedenen Unterrichtsszenarien eingeht.

Im typischen Klassenzimmer gibt es zwei Szenarien:

- Unterricht:
Beleuchtung auf Tischen und Tafel, wie gesetzlich vorgegeben.
- Präsentation:
Gedimmte Beleuchtung, sodass die Präsentationsfläche gut sichtbar ist.

Für diesen Zweck sind verschiedene Leuchtensysteme notwendig. Zudem muss die Beleuchtung steuer- und dimmbar sein.

2 Grundlagen

2.1 Grundbegriffe

Licht

Der Bereich des Lichts im elektromagnetischen Spektrum ist von etwa 380 nm bis 780 nm, dies ist der für das Auge wahrnehmbare Teil des Spektrums.

Licht selbst ist nicht sichtbar, wir sehen nur die beleuchteten Flächen. Das für uns sichtbare Licht ist die Leuchtdichte, sozusagen das reflektierte Licht.

Lampe

Als Lampe wird das Leuchtmittel, also die Lichtquelle, bezeichnet. Beispielsweise eine Glühbirne, eine Leuchtstofflampe, etc.

Leuchte

Als Leuchte wird das gesamte System bezeichnet, also Lampe, Vorschaltgerät (Elektronik) und Gehäuse.

Lichtstrom – Einheit: Lumen [lm]

Der Lichtstrom ist die Lichtleistung einer Lichtquelle. Eine Glühlampe mit 100 W Leistung hat ca. 1400 lm.

Lichtstärke – Einheit: Candela [cd]

Die Lichtstärke ist der Teil des Lichtstromes, der in eine bestimmte Richtung strahlt.

Beleuchtungsstärke – Einheit: Lux [lx]

Die Beleuchtungsstärke wird auf einer Ebene gemessen (z.B. horizontal am Boden, vertikal an der Wand). Sie gibt den Lichtstrom an, der auf eine bestimmte Fläche trifft. In Büros wird die Beleuchtungsstärke auf Tischhöhe (75 – 85 cm) berechnet/gemessen.

Leuchtdichte – Einheit: Candela/m² [cd/m²]

Die Leuchtdichte ist der Helligkeitseindruck, den eine beleuchtete oder leuchtende Fläche dem Auge vermittelt.

Eine Beleuchtungsstärke von 300 Lux auf einer hellen Fläche erscheint uns also heller als eine Beleuchtungsstärke von 300 Lux auf einer dunklen Fläche.

Farbwiedergabe

Die Farbwiedergabe ist die Eigenschaft des Spektrums, Körperfarben „naturgetreu“ wiederzugeben. Als Bezugsquelle gilt im Allgemeinen das Tageslicht. Es sind nur Farben sichtbar, welche auch im Spektrum der Lichtquelle vorhanden sind.

Farbtemperatur

Die Farbtemperatur, auch Lichtfarbe genannt, wird in „K“ (Kelvin) bzw. in Begriffen wie warmweiß (ca. 2700 – 3000 K), neutralweiß (ca. 4000 K) und tageslichtweiß (ca. 5000 K und höher) angegeben. Diese Definitionen sind nicht genormt, es gibt daher Abweichungen.

Wärmere Lichtfarben sind dem Glühlampenlicht (2700 – 3000 K) nachempfunden. Kühlere Lichtfarben sind dem Licht der Mittagssonne (5000 – 6500 K) nachempfunden.

Spektrale Lichtverteilung

Für uns Menschen ist das sichtbare Licht der Bereich der elektromagnetischen Strahlung von etwa 380 bis 780 nm Wellenlänge. Über die spektrale Lichtverteilung ist die Lichtfarbe gegeben.

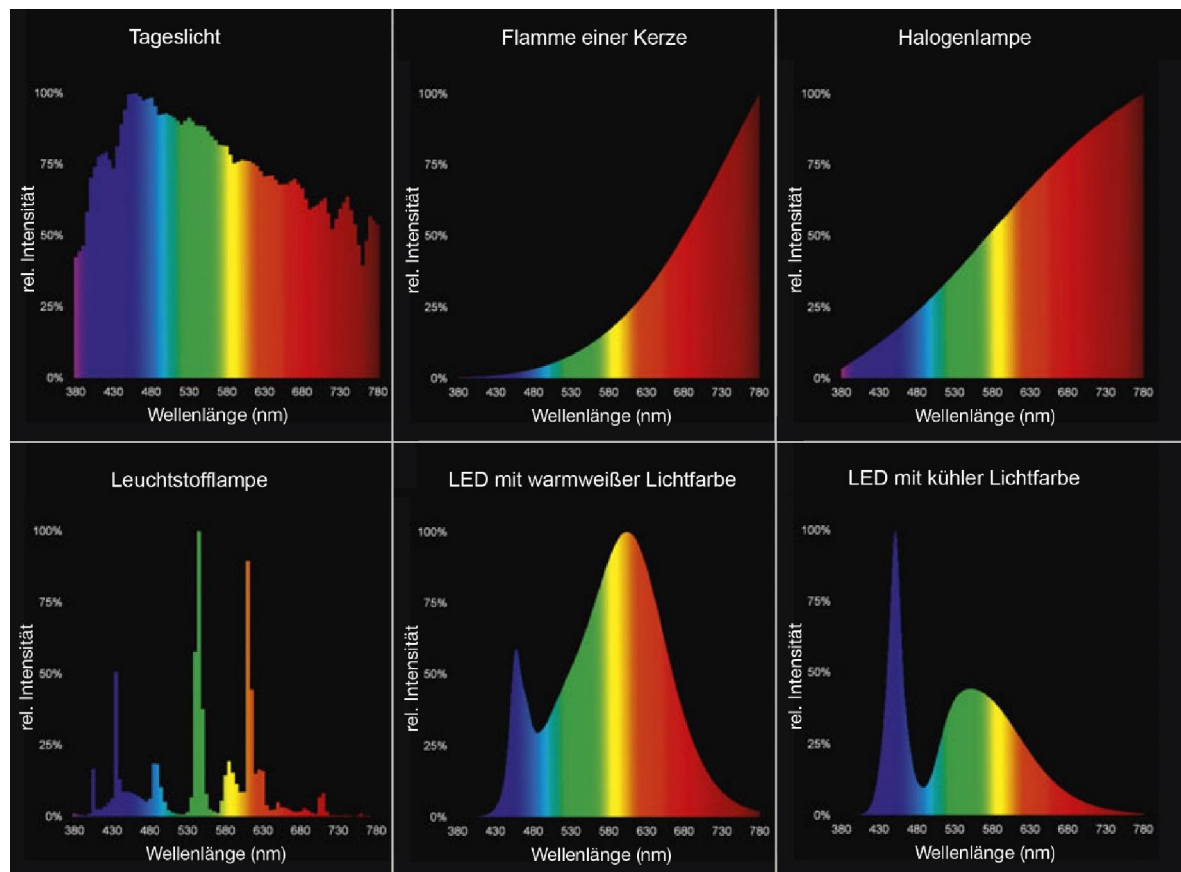


Abbildung 3: Spektrale Verteilung der Lichtquellen

Quelle: modifiziert übernommen aus: Lichtwissen 19 – Wirkung des Lichts auf den Menschen, licht.de, 2014

Das Sonnenlicht strahlt über alle sichtbaren Wellenlängen Energie, die Glühlampe oder Halogenlampe als Temperaturstrahler haben größere Anteile in den höheren (rötlichen) Wellenlängen. Da der wichtigste Faktor bei der Entwicklung der Leuchtstofflampe Effizienz war, wurden nur die Wellenlängen energetisiert, die notwendig sind, um für uns Menschen eine weiß erscheinende Lichtfarbe zu kreieren.

Durch diverse Faktoren bei der Entwicklung der LED lässt sich die spektrale Verteilung und somit die Lichtfarbe beeinflussen.

2.2 Arbeitswissenschaftliche Grundlagen

Licht ermöglicht den Menschen das Sehen und Erkennen. Neben der Orientierung in beleuchteten Räumen sind jedoch weitere Faktoren sehr wichtig.

Über die künstliche Beleuchtung lässt sich Einfluss auf die Melatonin-Produktion nehmen. Dies beeinflusst

- die biologische innere Uhr,
- den Wachheitsgrad,
- die Reaktionsgeschwindigkeit
- sowie Fehler bei der Arbeit.

Die aktivierende Wirkung von Licht wird vermehrt erkannt und vor allem in Unternehmen eingesetzt. In verschiedenen wissenschaftlichen Arbeiten wurde die Wirkung der künstlichen Beleuchtung auf Biologie und Arbeitsleistung des Menschen betrachtet. Klare Resultate gibt es im Bereich der Arbeitsleistung bzw. der Fehler-rate.

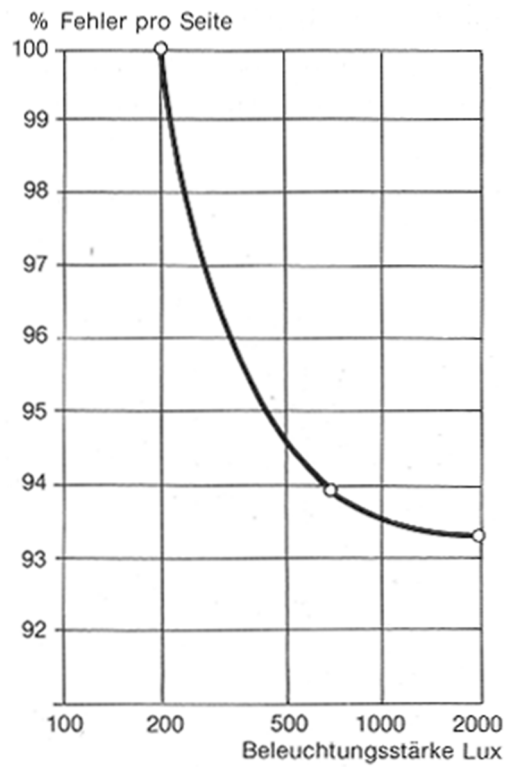


Abbildung 4: Fehler in Bezug auf die Beleuchtungsstärke

Quelle: Arbeitswissenschaften, Lindner, 2015

Abbildung 4 zeigt die Häufigkeit von Dateneingabefehlern in Bezug auf die Beleuchtungsstärke.

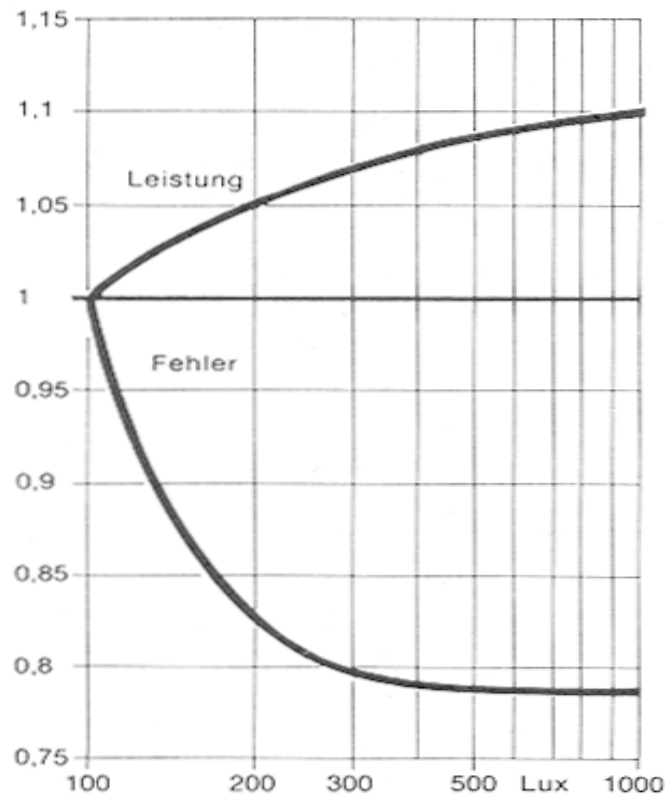


Abbildung 5: Sehleistung und Fehler in Bezug auf die Beleuchtungsstärke

Quelle: Arbeitswissenschaften, Lindner, 2015

Abbildung 5 zeigt die relative Sehleistung und Häufigkeit von Fehlern bei Sortiervorgängen in Bezug auf die Beleuchtungsstärke. Eine Beleuchtungsstärke von 500 Lux und mehr scheint großen positiven Einfluss auf die Sehleistung und die Häufigkeit von Fehlern zu nehmen.

Daraus könnte man ableiten, dass vor allem in allen Arbeitsbereichen 500 Lux als Minimum anzusehen sind.

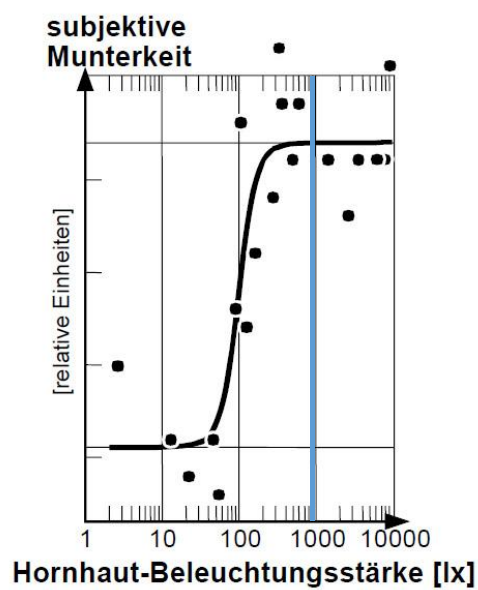


Abbildung 6: Subjektive Wachheit

Quelle: modifiziert übernommen aus: Optimale Beleuchtung bei Schichtarbeit, Vandahl,..., 2009

Abbildung 6 zeigt die subjektive Wachheit in Bezug auf die Beleuchtungsstärke. Bei 500 Lux wurde die blaue Markierung zur besseren Verständlichkeit eingefügt.

Diese Studie zeigt, dass in Bezug auf eine optimale subjektive Wachheit ebenfalls 500 Lux als Minimum heranzuziehen sind.

2.3 Wirtschaftswissenschaftliche Grundlagen

2.3.1 Zweck der Investitionsrechnung

Das Anlegen von finanziellen Mitteln in Anlagegütern wird als Investition verstanden. Aus Sicht der Wirtschaftswissenschaften werden verschiedene Arten von Investitionen unterschieden:

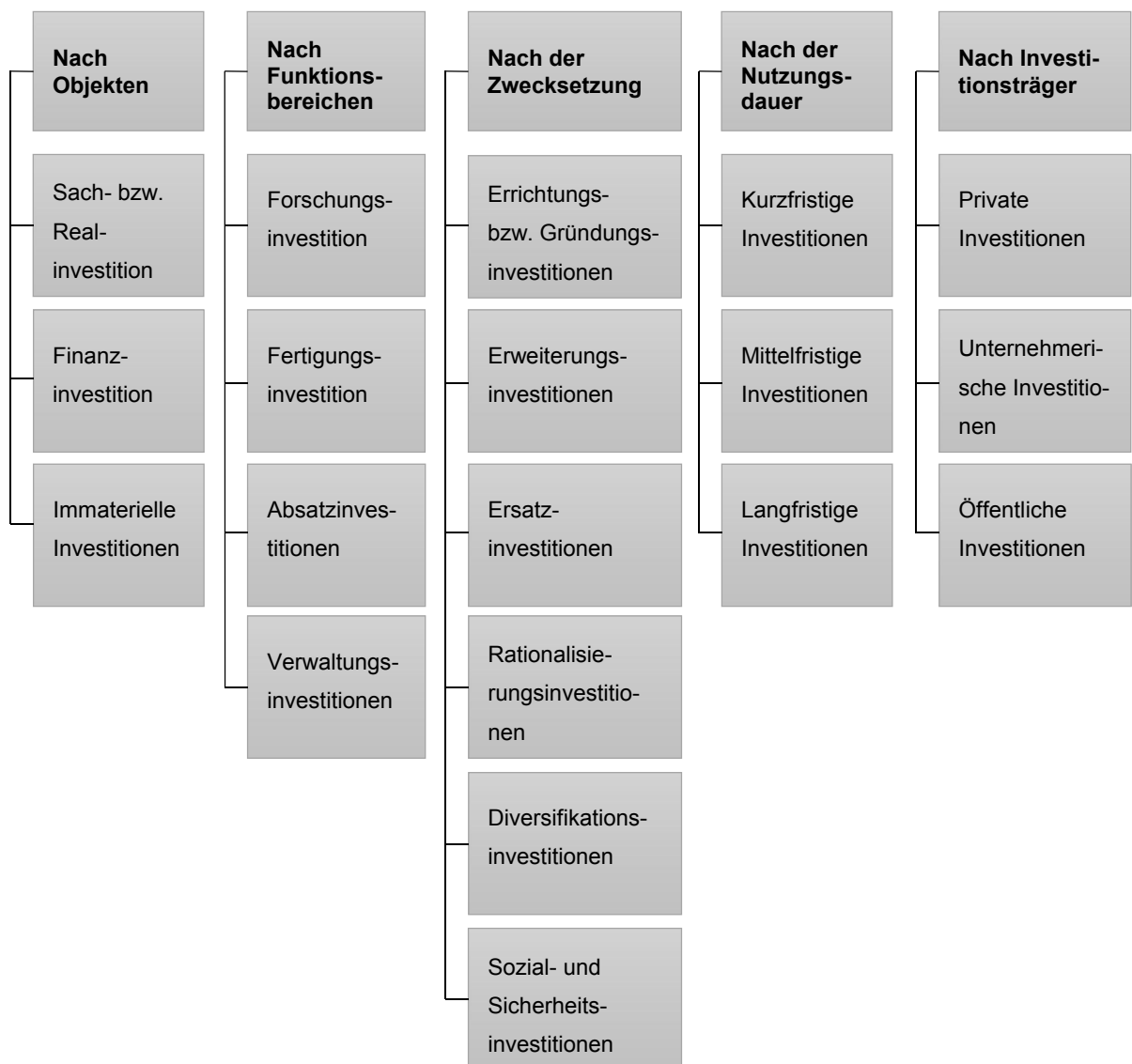


Abbildung 7: Arten von Investitionen

Quelle: modifiziert übernommen aus: Grundlagen der Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung, Däumler, Grabe, 2014

Um eine möglichst objektive Beurteilung und einen Vergleich zwischen Investitionen tätigen zu können, sind neben technischen, ökologischen, sozialen bzw. normativen Faktoren auch wirtschaftliche Faktoren in Betracht zu ziehen.

Die wirtschaftlichen Faktoren sind vor allem dann besonders wichtig, wenn über (technisch) ähnliche Systeme zu urteilen ist.

Die Investitionsrechnung ist ein Instrument, welches das Erkennen von finanziell vorteilhaften Investitionen ermöglicht und dadurch unvorteilhafte Investitionen und somit Schaden von der Unternehmung abwenden kann.

Aus Sicht der investierenden Unternehmung hat die Investitionsrechnung drei Hauptaufgaben:³

1. Einzelinvestition:
Ermittlung, ob die Anschaffung eines Einzelobjektes vorteilhaft ist im Sinne einer Ja/Nein-Entscheidung.
2. Alternativenvergleich und Rangfolgeproblem:
Nach einer Vorauswahl werden zwei oder mehrere Investitionsobjekte als vorteilhaft eingestuft. Durch die Investitionsrechnung soll bestimmt werden, welches das wirtschaftlichere und somit vorteilhaftere Objekt ist.
3. Nutzungsdauer- und Ersatzproblem:
Wie lange ein Objekt nutzbar und ab wann es zu ersetzen ist, kann durch den Einsatz dieses Instrumentes geklärt werden.

„Die Investitionsrechnung dient also dazu, die absolute und relative Vorteilhaftigkeit von Investitionen zu beurteilen sowie die optimale Nutzungsdauer und den optimalen Ersatzzeitpunkt von Investitionsobjekten zu bestimmen.“⁴

Eine Beleuchtungsanlage dient der Erhaltung bzw. Verbesserung der Prozesse in einem Gebäude und ist daher als Realinvestition zu betrachten. In Bezug auf die Nutzungsdauer ist eine Beleuchtungsanlage als langfristige Investition zu sehen, da diese mehr als 10 Jahre genutzt wird.

Eine Investition ist eine Zahlungsreihe, die mit einer Auszahlung beginnt. In Bezug auf ein Beleuchtungssystem sind demnach nur die Kosten der Anlage monetär messbar, jedoch nicht dessen monetäre „Leistung“ (Einnahme).

³ Vgl. Däumler, Grabe, 2014. S. 15.

⁴ Vgl. ebd. S. 16.

2.3.2 Verfahren der Investitionsrechnung

Bei der Bewertung von Investitionen kommen verschiedene Verfahren zum Einsatz. Bei Einzelinvestitionen wird zwischen mehrdimensionalen (Nutzwertanalyse) und eindimensionalen (statischen bzw. dynamischen) Verfahren unterschieden.

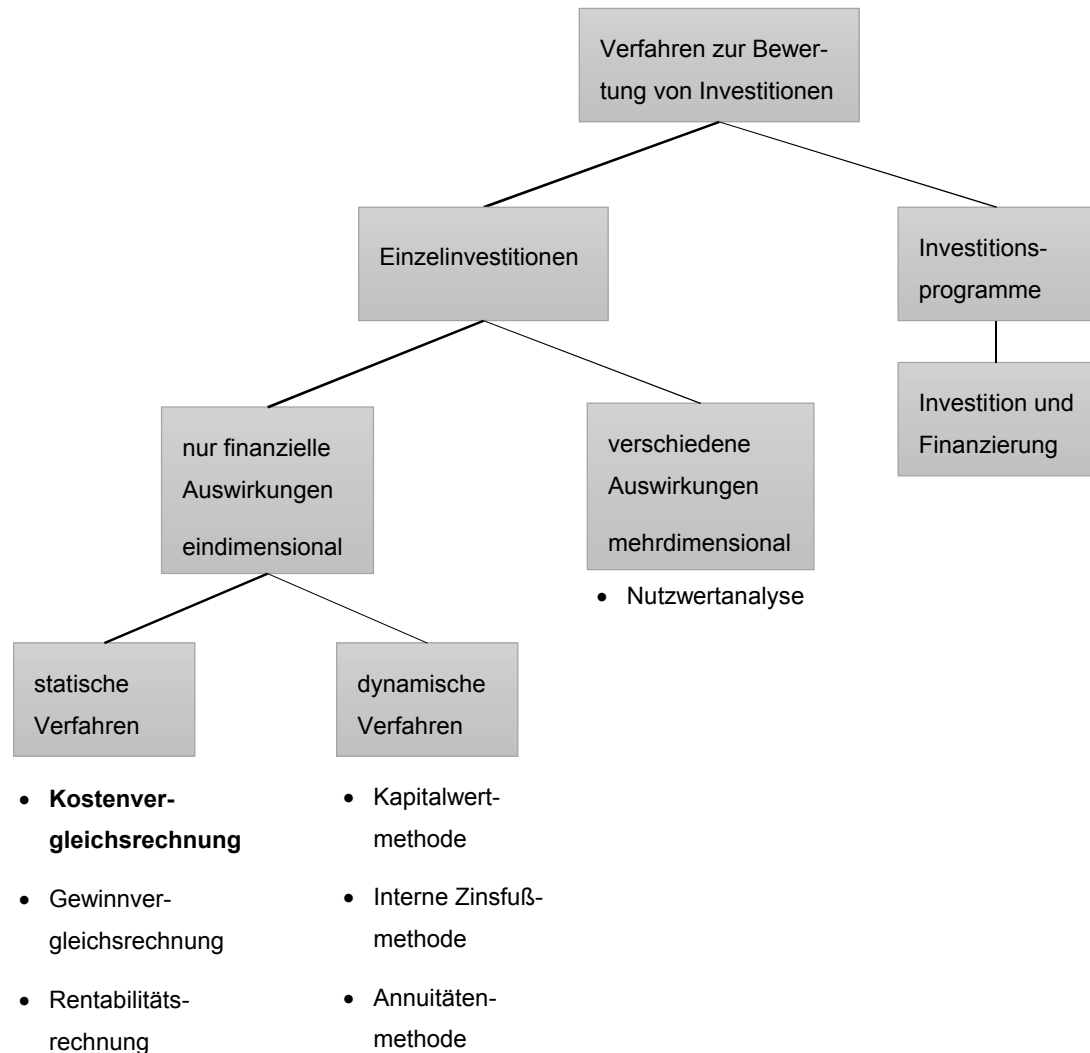


Abbildung 8: Verfahren der Investitionsrechnung

Quelle: modifiziert übernommen aus: Grundlagen der Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung, Däumler, Grabe, 2014

Bei der ökonomischen Betrachtung von Investitionen in Beleuchtungssystemen wird die Kostenvergleichsrechnung, ein statisches Verfahren, eingesetzt. Da ein infrage kommendes Beleuchtungssystem alle technischen, normativen und, sofern vorgegeben, andere Faktoren (ökologisch, sozial, ästhetisch) erfüllen muss, werden bei der ökonomischen Betrachtung nur die mess- bzw. rechenbaren Kosten herangezogen.

2.3.3 Kostenvergleichsrechnung

Bei der Neuinvestition in eine Beleuchtungsanlage entsteht ein Auswahlproblem zwischen mehreren Systemen. Daher ist ein Alternativenvergleich herzustellen. Es soll eruiert werden, welches System kostengünstiger ist. Die jährlichen Kosten der alternativen Systeme werden über die Nutzungsdauer verglichen.

Bei den Kosten wird zwischen Kapitalkosten (Abschreibungen und Zinsen) und Betriebskosten (Material, Energie, Wartung, etc.) unterschieden.

Bei einer Anschaffung einer Beleuchtungsanlage in Bildungseinrichtungen sind folgende Kosten relevant:

- Materialkosten (Anschaffungskosten)
- Energiekosten (Preissteigerungen sind nicht berücksichtigt, da Entwicklung nicht voraussehbar)
- Wartungskosten (Kosten für den Lampenwechsel)

Die Kapitalkosten werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, da eine generelle Aussage über die verglichenen Systeme getroffen werden soll und die Kapitalkosten stark von der Institution, deren finanzieller Situation und möglichen Förderungen abhängen.

In dieser Arbeit werden die Gesamtkosten, bestehend aus Anschaffungs-, Energie- und Wartungskosten, gegenübergestellt. Zum besseren Verständnis und zur Ermittlung des kritischen Zeitpunktes, d.h. dem Zeitpunkt, ab dem eine Investition vorteilhafter wird als eine andere, werden die verglichenen Systeme im Zeitdiagramm dargestellt.

2.3.4 Beispiel einer Kostenvergleichsrechnung

Zum besseren Verständnis der im Kapitel 4 folgenden wirtschaftlichen Bewertungen werden zwei theoretische Systeme gegenübergestellt.

Folgende Ausgangsparameter:

2400 Betriebsstunden des Beleuchtungssystems pro Jahr

System 1: LED-System

System 2: Konventionelles System

Raum X, 10-mal im Schulgebäude vorhanden

System 1: LED-System

Leuchte	Type	Leistung Leuchte	Anzahl Raum	Leistung Schule	Anzahl Schule	Einzel- preis Liste	Gesamt- preis Liste
Downlight	LED Downlight	20 W	10	2.000 W	100	200 €	20.000 €
Summe				2.000 W			20.000 €

Tabelle 1: Ökonomische Bewertung: LED-System

Quelle: Eigene Darstellung, 2016

$$K_{\text{LED, A}} = 100 \times 200 \text{ €} = 20.000 \text{ €}$$

$K_{\text{LED, A}}$... Anschaffungskosten des Systems.

Weitere wirtschaftlich interessante Faktoren:

Lebensdauer LED-System: 50.000 h : 2400 Betriebsstunden = ca. 20 Jahre

Die Lebensdauer des LED-Systems beträgt 20 Jahre, dies entspricht der Systemlebensdauer.

Da der Austausch der Lichtquellen (Leuchtmittel) auf Grund mangelnder Standardisierung bei dem LED-System nicht möglich ist, ist eine Neuinvestition nach der Systemlebensdauer notwendig.

Wartungspunkte: 100 Downlights = 100 Wartungspunkte

Unter Wartungspunkten werden die einzelnen Lichtquellen verstanden, die im Laufe der Systemlebensdauer ausfallen könnten.

Gesamtleistung x Betriebsstunden / Jahr: $2 \text{ kW} \times 2400 \text{ h} = 4.800 \text{ kWh} / \text{Jahr}$

$$K_{\text{LED, EGa}} = 4.800 \text{ kWh} \times 0,15 \text{ €} = 720 \text{ €}$$

$K_{\text{LED, EGa}}$... Gesamtenergiekosten pro Jahr.

$$K_{\text{LED, EG}} = 720 \text{ €} \times 20 = 14.400 \text{ €}$$

$K_{\text{LED, EG}}$... Gesamtenergiekosten, bezogen auf 20 Jahre Systemlebensdauer.

$$K_{\text{LED, GES}} = K_{\text{LED, A}} + K_{\text{LED, EG}} = 20.000 \text{ €} + 14.400 \text{ €} = 34.400 \text{ €}$$

$K_{\text{LED, GES}}$... Gesamtkosten des Systems, bezogen auf die Systemlebensdauer, bestehend aus den Anschaffungs- und Energiekosten.

System 2: Konventionelles System

Leuchte	Type	Leistung Leuchte	Anzahl Raum	Leistung Schule	Anzahl Schule	Einzel- preis Liste	Gesamt- preis Liste
Downlight	Konventionelles Downlight	2 x 26 W	10	5.200 W	100	100 €	10.000 €
Summe				5.200 W			10.000 €

Tabelle 2: Ökonomische Bewertung: Konventionelles System

Quelle: Eigene Darstellung, 2016

$$K_{\text{KONV}, A} = 100 \times 100 \text{ €} = 10.000 \text{ €}$$

$K_{\text{KONV}, A}$... Anschaffungskosten des Systems.

Weitere wirtschaftlich interessante Faktoren:

Lebensdauer Kompaktleuchtstofflampe TC-TEL 26 W: 10.000 h

Lampenwechsel TC-TEL: 10.000 h : 2400 Betriebsstunden = ca. alle 4 Jahre

$$K_{\text{KONV}, W_n} = 2 \times 100 \times 3 \text{ €} = 600 \text{ €}$$

K_{KONV, W_n} ... Kosten des Lampenwechsels alle 4 Jahre

$$K_{\text{KONV}, W} = 5 \times 600 \text{ €} = 3.000 \text{ €}$$

$K_{\text{KONV}, W}$... Kosten des Lampenwechsels, bezogen auf die Systemlebensdauer von 20 Jahren.

Die Kosten für den Lampenwechsel der TC-TEL Leuchtmittel bestehen aus der Anzahl der Leuchtmittel ($2 \times 100 = 200$ Stück), dem Preis für ein Leuchtmittel (3 €) sowie der Anzahl der Lampenwechsel ($5 \times$ in 20 Jahren).

Wartungspunkte: 2×100 Lampen (Downlights) = 200 Wartungspunkte

Unter Wartungspunkten werden die einzelnen Lichtquellen verstanden, die im Laufe der Systemlebensdauer ausfallen könnten.

Gesamtleistung x Betriebsstunden / Jahr: 5,2 kW x 2400 h = 12.480 kWh / Jahr

$$K_{\text{KONV, EGa}} = 12.480 \text{ kWh} \times 0,15 \text{ €} = 1.872 \text{ €}$$

$K_{\text{KONV, EGa}}$... Gesamtenergiekosten pro Jahr.

$$K_{\text{KONV, EG}} = 1.872 \text{ €} \times 20 = 37.440 \text{ €}$$

$K_{\text{KONV, EG}}$... Gesamtenergiekosten, bezogen auf 20 Jahre Systemlebensdauer.

$$K_{\text{KONV, GES}} = K_{\text{KONV, A}} + K_{\text{KONV, W}} + K_{\text{KONV, EG}} = 10.000 \text{ €} + 3.000 \text{ €} + 37.440 \text{ €} = 50.440 \text{ €}$$

$K_{\text{KONV, GES}}$... Gesamtkosten des Systems, bezogen auf die Systemlebensdauer, bestehend aus den Anschaffungs-, Wartungs- und Energiekosten.

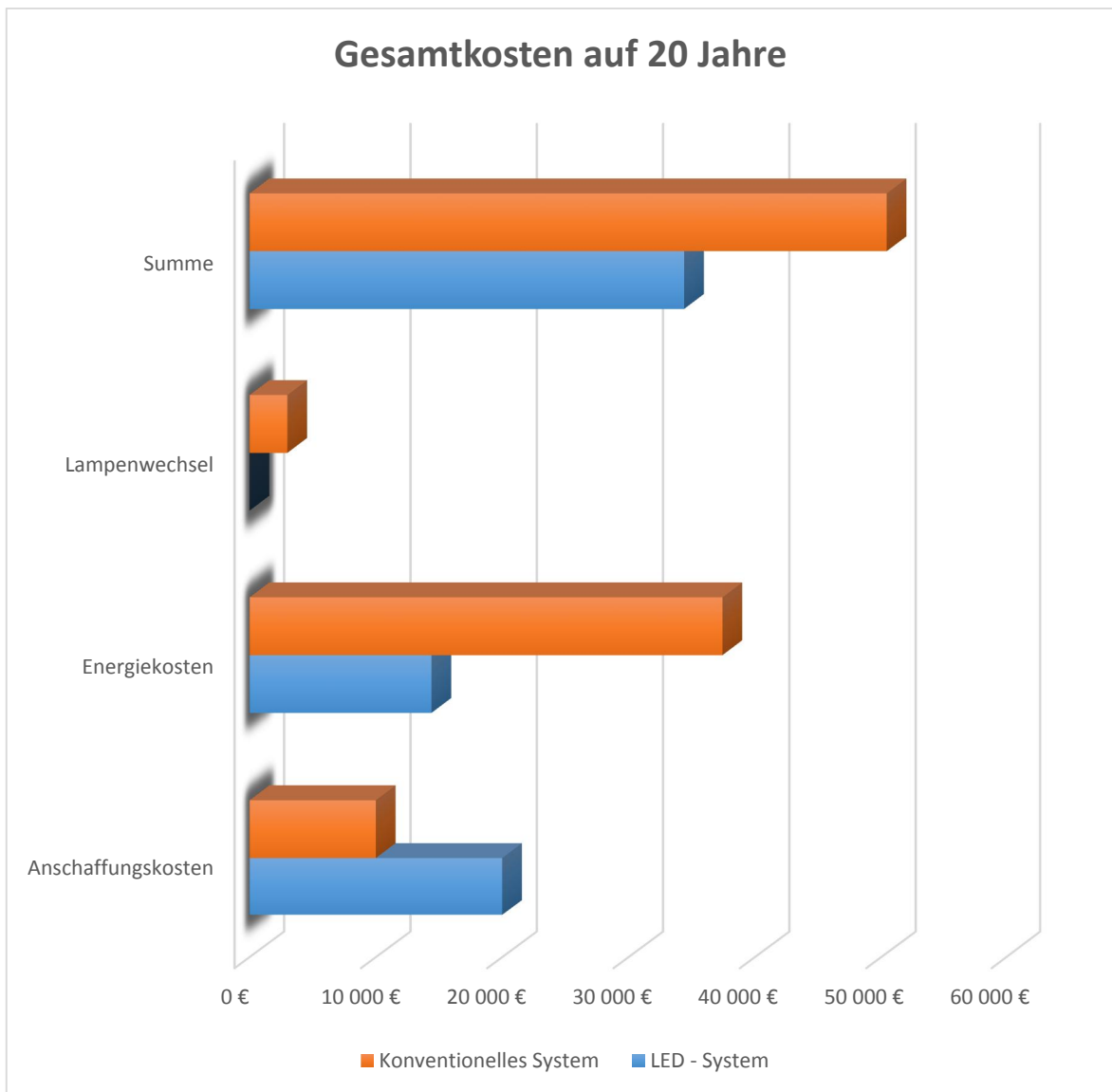


Abbildung 9: Vergleich der Systeme: Gesamtkosten auf 20 Jahre

Quelle: Eigene Darstellung, 2016

Dieses Beispiel zeigt, dass die Anschaffungskosten des konventionellen Systems zwar niedriger als die des LED-Systems sind, dieses jedoch durch niedrigere Energie- und nicht vorhandene Wartungskosten in Bezug auf die Gesamtkosten vorteilhafter ist.

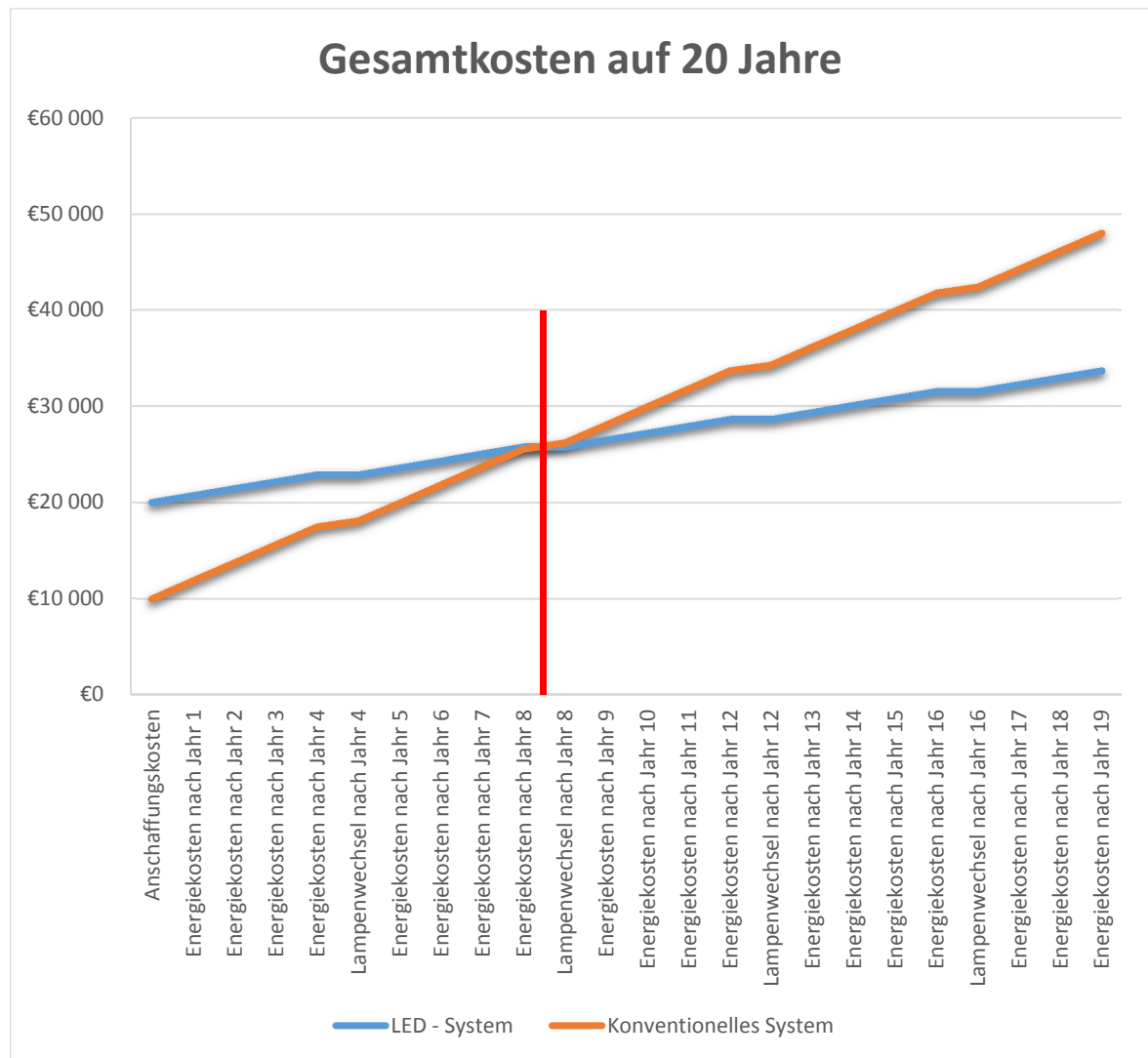


Abbildung 10: Vergleich der Systeme: jährliche Kosten

Quelle: Eigene Darstellung, 2016

Während die zu Beginn anfallenden Anschaffungskosten des konventionellen Systems deutlich niedriger sind, wird durch die höheren Energie- und Wartungskosten nach 8 Jahren der kritische Punkt erreicht, nach dem das LED-System wirtschaftlich vorteilhafter ist als das konventionelle System. Aus der rein ökonomischen Betrachtung ist das LED-System demnach vorteilhafter als das konventionelle Beleuchtungssystem.

3 Schuleinrichtungen

3.1 Raumtypen und normative Anforderung an die Beleuchtung

Typische Räume in Schuleinrichtungen sowie die normativen Anforderungen lt. EN12464-1:

\bar{E}_m ... mittlere Beleuchtungsstärke

UGR_L ... Unified Glare Rating
(Wert der Blendung durch die Beleuchtungsanlage)

U_0 ... Gleichmäßigkeit
(Verhältnis von minimaler zu mittlerer Beleuchtungsstärke)

R_a ... Farbwiedergabeindex

	\bar{E}_m	UGR_L	U_0	R_a
Unterrichts- und Seminarräume	300 Lux	19	0,6	80
Unterrichtsräume für Abendklassen und Erwachsenenbildung sowie Hörsäle	500 Lux	19	0,6	80
Wandtafeln und Whiteboards	500 Lux	19	0,7	80
Räume für technisches Zeichnen	750 Lux	19	0,7	80
Eingangshallen	200 Lux	22	0,4	80
Verkehrsflächen und Flure	100 Lux	25	0,4	80
Treppen	150 Lux	25	0,4	80
Garderoben, Bäder und Toiletten	200 Lux	25	0,4	80
Gemeinschaftsräume für Schüler	200 Lux	22	0,4	80

Lehrerzimmer	300 Lux	19	0,6	80
Sporthallen und Schwimmbäder	300 Lux	22	0,6	80
Schulkantinen	200 Lux	22	0,4	80
Küchen	500 Lux	22	0,6	80

In den folgenden Beispielen wurden die Räume im Lichtberechnungsprogramm Dialux erstellt, die adäquaten Beleuchtungssysteme gewählt und berechnet. Die normativen Vorgaben wurden in jedem Raum eingehalten.

3.2 Unterrichtsräume

3.2.1 Im Einsatz befindliche, konventionelle Beleuchtung

Bisher wurden Unterrichtsräume hauptsächlich durch Leuchten mit Leuchtstofflampen beleuchtet. Diese Systeme waren selten steuer- bzw. dimmbar. Die Blendungsbegrenzung wurde durch Raster realisiert.

Im Normalfall war die Beleuchtung nicht auf die Bedürfnisse des Unterrichts ausgelegt, einzig auf die Raumbeleuchtung.



Abbildung 11: Typische (höherwertige) Beleuchtung

Quelle: Lichtwissen 02 – Besser lernen mit gutem Licht, licht.de, 2012



Abbildung 12: Typische Beleuchtung

Quelle: Lichtwissen 02 – Besser lernen mit gutem Licht, licht.de, 2012

Zum Vergleich wurde der Unterrichtsraum mit konventioneller Beleuchtung berechnet, um eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit treffen zu können.

Die Leuchten sind vergleichbare Typen, jedoch mit herkömmlichen Leuchtmitteln (Leuchtstofflampen), da diese in der Vergangenheit und auf Grund des geringeren Preises auch in der Gegenwart am meisten eingesetzt wurden.

Es sei hier jedoch anzumerken, dass in diesem Beispiel die optimale, d.h. eine technisch hochwertige Beleuchtung mit konventionellen Leuchtmitteln, gewählt wurde, um einen legitimen Vergleich herstellen zu können. Weiters sollte angemerkt werden, dass es auch langlebige Leuchtstofflampen, sogenannte „longlife T5“, mit 40.000 Stunden Lebensdauer gibt und diese den LED-Systemen in Bezug auf Lampenlebensdauer sehr nahe kommen. Bei herkömmlichen Systemen lassen sich zudem die Leuchtmittel separat wechseln, bei LED-Systemen muss unter Umständen die gesamte Leuchte ausgetauscht werden, da es hier noch keine Standards in Bezug auf austauschbare Leuchtmittel gibt.

3.2.2 Optimale Beleuchtung

Unterrichtsräume sind ein komplexer Bereich, da hier unterschiedliche Lichtszenarien benötigt werden. Eine optimale Beleuchtung in solchen Räumen sollte die benötigten Szenarien ermöglichen sowie eine gewisse Flexibilität zulassen.

Typische Szenarien inkl. benötigter Beleuchtung:

Unterricht:

Beleuchtung an den Tischen sowie an der Tafel

Zu erreichende Werte lt. EN 12464-1:

Unterrichtsraum, Tische und Tafel: $\bar{E}_m = 500 \text{ Lux}$

Präsentation:

Verringerte Beleuchtung der Tafel und der Allgemeinbeleuchtung

Empfohlene Werte:

Unterrichtsraum & Tische: $\bar{E}_m = 200\text{-}300 \text{ Lux}$ | Tafel: $\bar{E}_m = \text{ca. } 100\text{-}200 \text{ Lux}$

Die Beleuchtung sollte aus zwei dimmbaren Leuchtengruppen bestehen. Eine Beleuchtungsgruppe **(1)** sollte den Bereich der Tafel/Präsentation beleuchten, die zweite Beleuchtungsgruppe **(2)** der Allgemeinbeleuchtung (Raum und Tische) dienen.

Im folgenden Beispiel sind sogenannte Downlights (Einbauleuchten) mit einer speziellen Optik (wallwashing, d.h. spezielle Lichtverteilung zur optimalen Beleuchtung einer Wand) zur Beleuchtung der Tafelfläche sowie blendarme, abgehängte Leuchten mit einer direkt/indirekten Lichtverteilung zur Allgemeinbeleuchtung ausgeführt.

Je nach Montagemöglichkeit und Anforderung, könnten die Leuchten abgehängt oder in/an der Decke montiert werden.

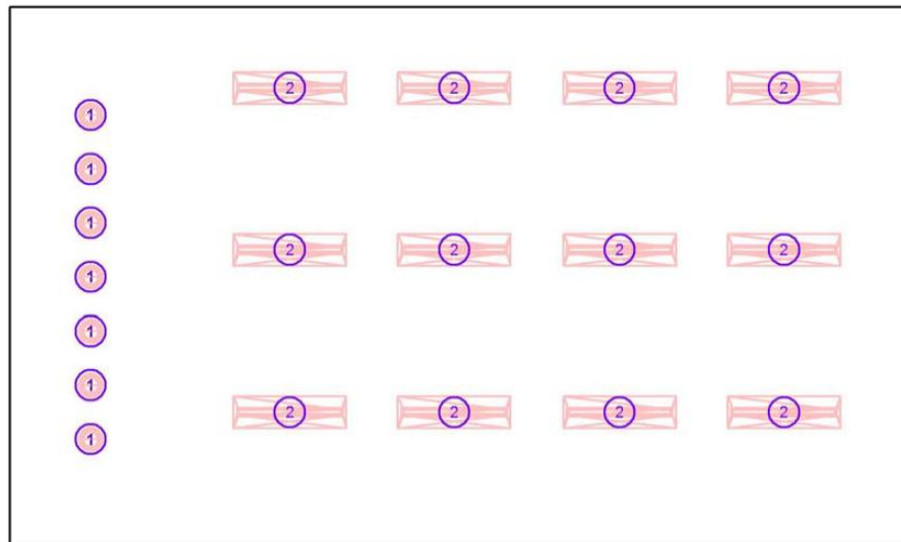


Abbildung 13: Lageplan der Leuchten im Unterrichtsraum

Quelle: Eigene Darstellung im Programm Dialux, dial.de, 2016

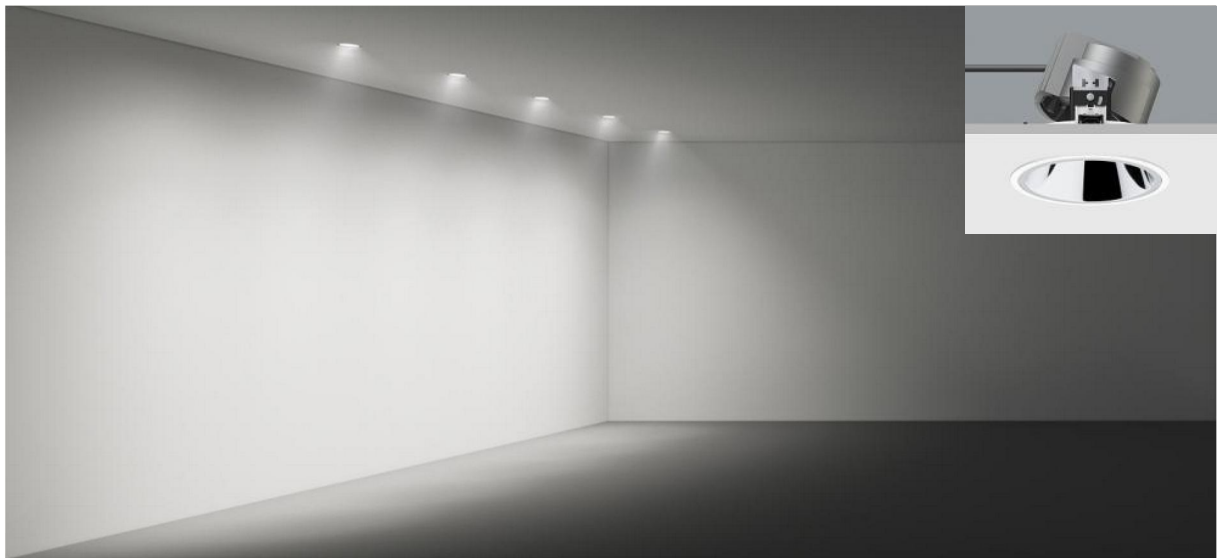


Abbildung 14: Wandfluter und Symbolbild der Leuchte

Quelle: Erco.com, 2016

In Abbildung 14 sieht man, dass sogenannte Wandfluter hauptsächlich die Wand beleuchten, aber die Umgebung kaum erhellen.

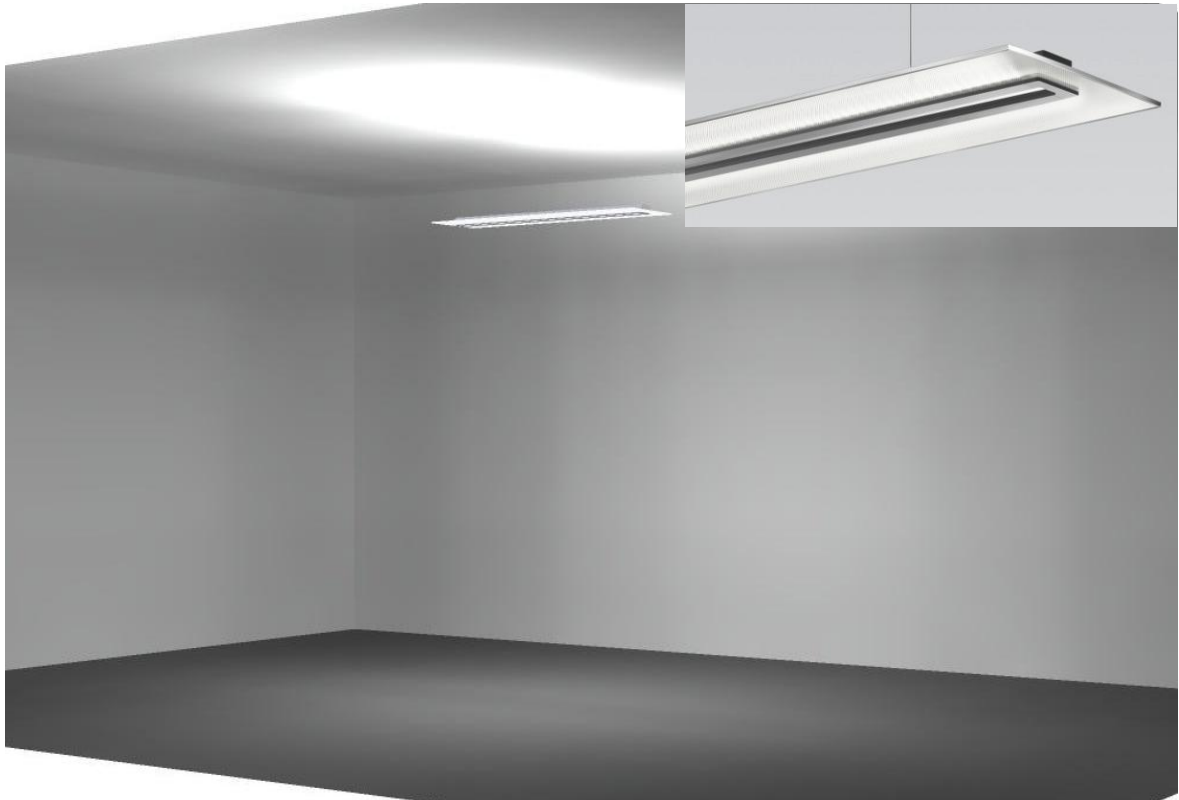


Abbildung 15: Abgehängte Leuchte und Symbolbild der Leuchte

Quelle: Eigene Darstellung im Programm Dialux, dial.de / Siteco.de, 2016

In Abbildung 15 sieht man, dass eine abgehängte Leuchte mit direkter/indirekter Lichtverteilung eine optimale, gleichmäßige Ausleuchtung der Arbeitsaufgabe und der Umgebung gewährleistet.



Abbildung 16: 3D Renderings

Quelle: Eigene Darstellung im Programm Dialux, dial.de, 2016

Im angeführten Beispiel dienen 7 Downlights der Beleuchtung der Tafel-/Präsentationsfläche sowie 12 abgehängte Leuchten der Allgemeinbeleuchtung.

Eine einfache und leicht verständliche Lösung wäre es, diese Beleuchtungsszenarien durch Lichttaster zu realisieren:

Taster A: Gesamte Beleuchtung an (bzw. zuletzt gewählte Einstellung)

Taster B: Gesamte Beleuchtung aus

Taster C: Allgemeinbeleuchtung 100 %

Taster D: Allgemeinbeleuchtung gedimmt (60 %)

Taster E: Tafelbeleuchtung 100 %

Taster F: Tafelbeleuchtung gedimmt (30 %)

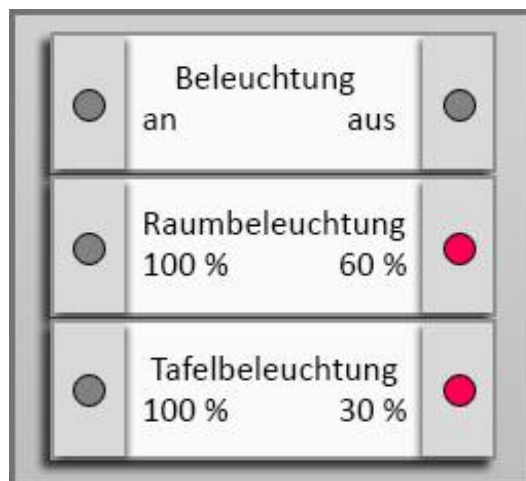


Abbildung 17: Beispiel für einen Taster

Quelle: Eigene Darstellung im Programm gimp, gimp.org, 2016

Auswahl der Leuchten

Die Auswahl der Leuchten sollte gemäß den zu erreichenden Werten gewählt werden. Stand der Technik ist die LED-Technologie, die mittlerweile in der Lage ist, auch im Bürobereich die herkömmliche Beleuchtung (Leuchtstofflampen) in Bezug auf Effizienz abzulösen.

Besonderes Augenmerk sollte auf die möglichst reduzierte Blendung durch die Beleuchtungskörper gelegt werden. Bei hochentwickelten Leuchten werden verschiedene Technologien verwendet. Um eine möglichst reduzierte Blendung und einen hohen Komfort zu erreichen, werden beispielsweise Linsen- und/oder Mikroprismentechnik eingesetzt.

3.2.3 Systemvergleich

Leistungsdaten LED – Szenario „Unterricht“:

Downlights: $7 \times 36 \text{ W} = 252 \text{ W}$

Abgehängte Leuchten: $12 \times 45 \text{ W} = 540 \text{ W}$

Gesamtleistung: 792 W

Leistungsdaten LED – Szenario „Präsentation“:

Downlights gedimmt auf 30 %: $7 \times \sim 11 \text{ W} = 77 \text{ W}$

Abgehängte Leuchten auf 60 %: $12 \times 27 \text{ W} = 324 \text{ W}$

Gesamtleistung: 401 W

Leistungsdaten konventionell – Szenario „Unterricht“:

Downlights: $7 \times 2 \times 26 \text{ W} = 364 \text{ W}$

Abgehängte Leuchten: $12 \times 2 \times 28 \text{ W} = 672 \text{ W}$

Gesamtleistung: 1.036 W

Im Vergleich zum LED-System (792 W) ergibt sich also eine Erhöhung der Anschlussleistung um 31 %.

Leistungsdaten konventionell – Szenario „Präsentation“:

Downlights gedimmt auf 30 %: $7 \times \sim 16 \text{ W} = 112 \text{ W}$

Abgehängte Leuchten auf 60 %: $12 \times \sim 34 \text{ W} = 408 \text{ W}$

Gesamtleistung: 520 W

Im Vergleich zum LED-System (401 W) ergibt sich eine Erhöhung der Anschlussleistung um 30 %.

Die Energieeinsparung selbst ist in diesem Beispiel, vor allem in Betracht einer u.U. höheren Investition in einem LED-System, nicht so hoch, wie oft propagiert, wenn man gleichwertige Systeme betrachtet. Es gibt jedoch weitere Argumente für ein modernes LED-System, beispielsweise:

- Beliebig oft schalt- und dimmbar
- Langlebiges System
- Lichtleistung direkt nach dem Einschalten, kein „Warm-werden“ der Leuchtmittel
- Bessere spektrale Verteilung der LED im Vergleich zur Leuchtstofflampe
- Möglichkeit von „tuneable white“, d.h. Einstellung der Lichtfarbe gemäß dem Tagesverlauf

3.3 Korridore

3.3.1 Konventionelle Beleuchtung

Die Beleuchtung von Korridorbereichen wird typischerweise mit Downlights mit Kompaktleuchtstofflampen durchgeführt. Während diese Leuchtmittel auf Grund ihrer Dimensionen für größere Bereiche effizient sein können, sind sie in engeren Korridoren und kleinen Räumen auf Grund ineffizienter Lichtverteilung unvorteilhaft.

Des Weiteren sind sie auf Grund ihrer technologischen Eigenschaften nicht für den Betrieb mit Anwesenheitssensoren geeignet, da bei häufigen An-/Auszyklen die Lebensdauer stark beeinträchtigt wird.

3.3.2 Optimale Beleuchtung

Die Beleuchtung der Korridore sollte mit Systemen realisiert werden, die durch eine spezielle Technologie (Linsentechnik) die Effizienz steigern und dadurch eine geringere Anzahl an Leuchten ermöglichen, wodurch verringerte Energie- und Wartungskosten entstehen.

Weiters sollten Anwesenheitssensoren eingesetzt werden, um die Energiekosten noch weiter zu senken und die Beleuchtung nur bei Bedarf zu aktivieren.

Zu erreichende Werte lt. EN 12464-1:

Verkehrsflächen und Flure: $\bar{E}_m = 100 \text{ Lux}$

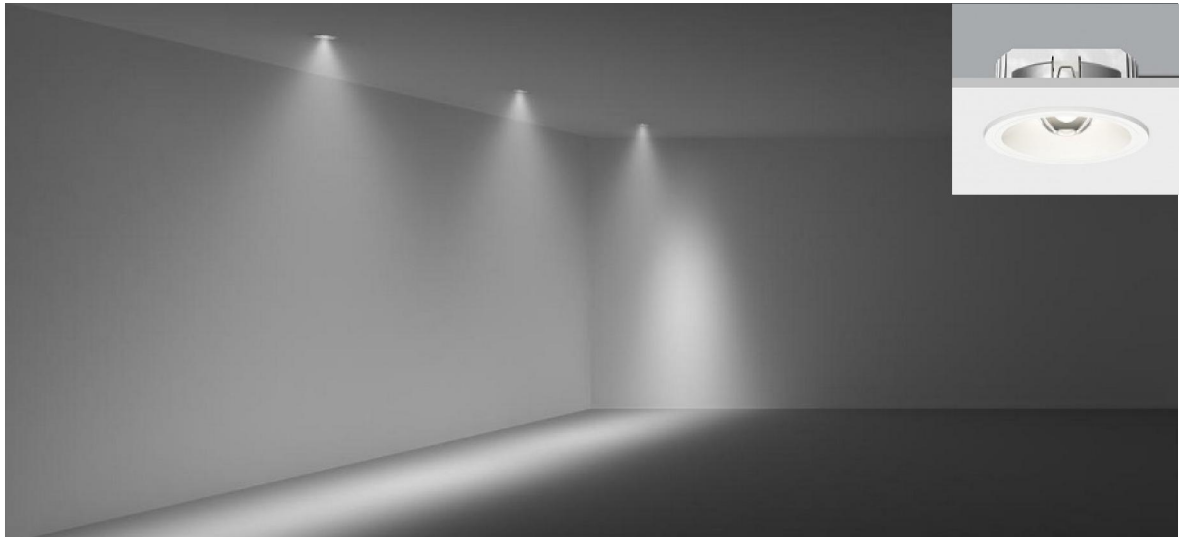


Abbildung 18: Einbaudownlight mit ovaler Lichtverteilung und Symbolbild

Quelle: Erco.com, 2016

In Abbildung 18 sieht man die effiziente Beleuchtung durch Downlights mit einer ovalen, korridorspezifischen Lichtverteilung. Durch den Einsatz dieser Technologie werden große Einsparungen möglich.

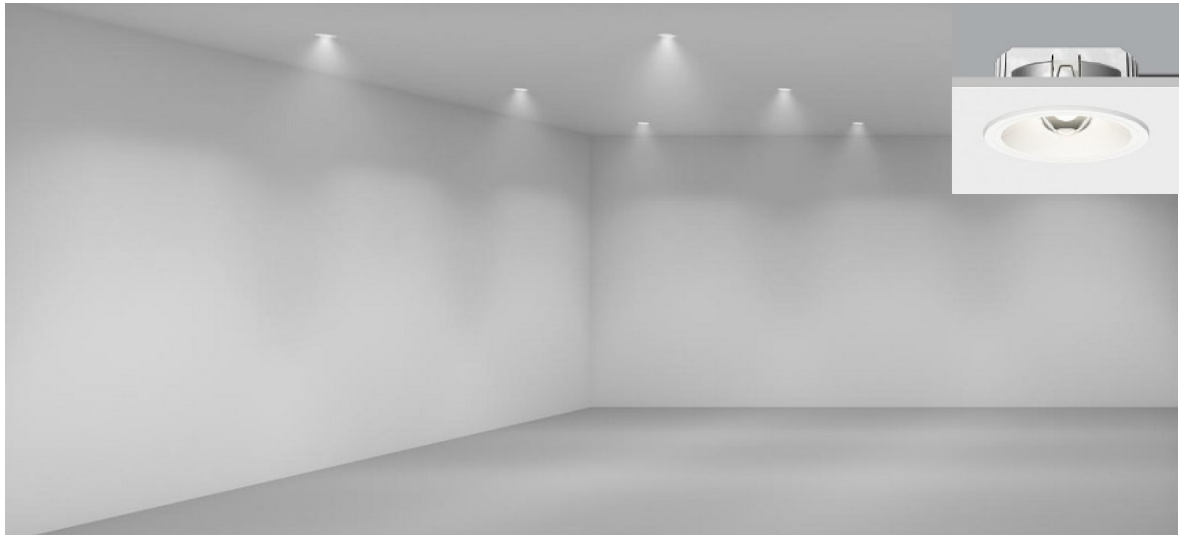


Abbildung 19: Einbaudownlight mit sym. Lichtverteilung und Symbolbild

Quelle: Erco.com, 2016

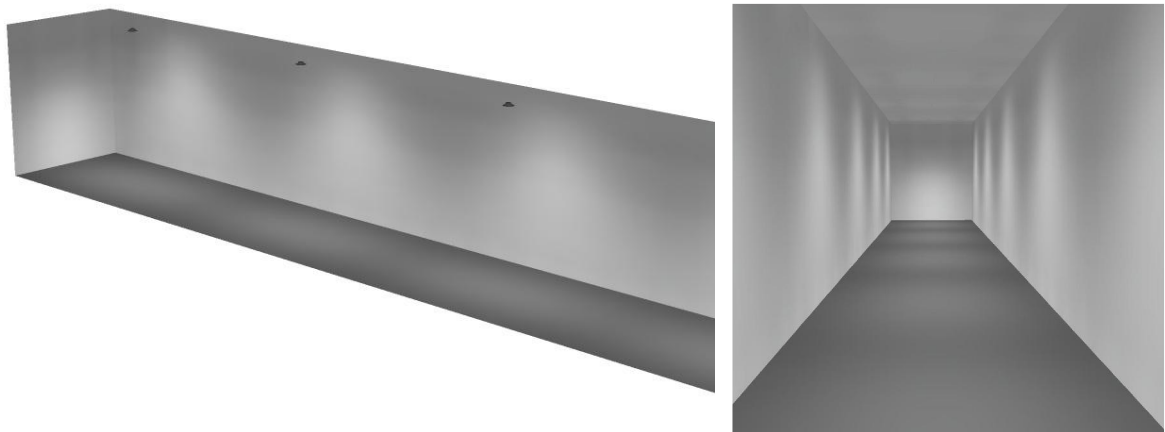


Abbildung 20: 3D Renderings – typischer Korridor – ovale Lichtverteilung

Quelle: Eigene Darstellung im Programm Dialux, dial.de, 2016

Im oberhalb angeführten Beispiel wurden spezielle LED-Downlights mit ovaler Lichtverteilung eingesetzt. Über eine spezielle Linsentechnologie wird eine Lichtverteilung erzeugt, die besonders in Korridorbereichen sehr effizient ist.

Bei typischen Raumdimensionen (Breite x Höhe: 2,5 m x 3 m) ist ein Leuchtenabstand von 4,5 m möglich.

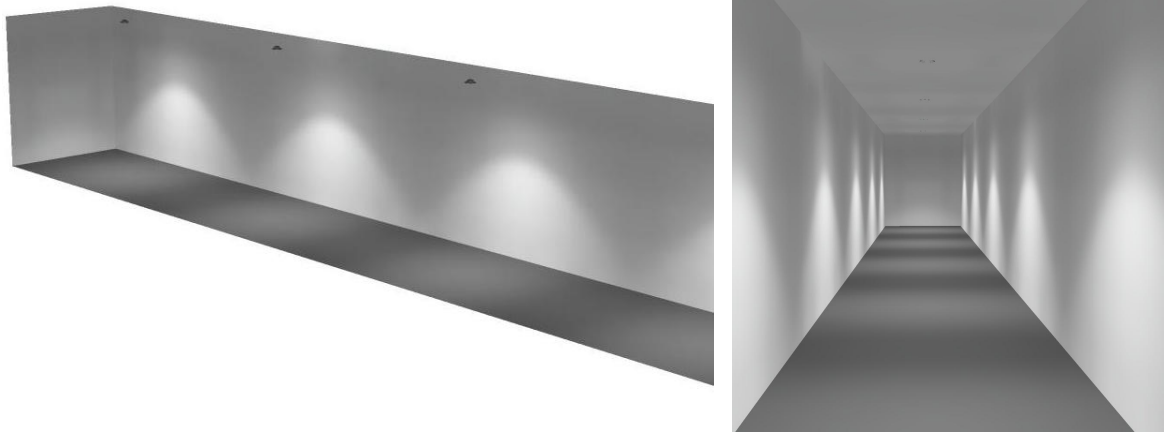


Abbildung 21: 3D Renderings – typischer Korridor – sym. Lichtverteilung

Quelle: Eigene Darstellung im Programm Dialux, dial.de, 2016

Bei einem typischen LED-Downlight mit symmetrischer Lichtverteilung und weitem Ausstrahlwinkel (z.B. 60°) lassen sich bei gleicher Lichtleistung ähnliche (etwas geringere) Leuchtenabstände realisieren. Die Gleichmäßigkeit ist jedoch bei ovaler Lichtverteilung besser, wie man auch an den Renderings erkennen kann.

Bei typischen Raumdimensionen (Breite x Höhe: 2,5 m x 3 m) ist ein Leuchtenabstand von 4,1 m bei der gewählten Leuchte mit 60° Ausstrahlwinkel möglich.

Bei der Beleuchtung durch Downlights mit Kompaktleuchtstofflampen, dies wäre der konventionelle Weg, ist im beispielhaften Korridor ein Lichtpunktabstand von 3,6 m nötig, um die normativen Vorgaben zu erreichen.

3.3.3 Systemvergleich

Beispielhafter Korridor mit 2,5 m Breite, 100 m Länge und 3 m Raumhöhe:

Leistungsdaten LED mit ovaler Lichtverteilung:

Lichtpunktabstand 4,5 m: $22 \times 18 \text{ W} = 396 \text{ W}$

Gesamtleistung: 396 W

Leistungsdaten LED mit symmetrischer Lichtverteilung:

Lichtpunktabstand 4,1 m: $24 \times 18 \text{ W} = 432 \text{ W}$

Gesamtleistung: 432 W

Im Vergleich zum LED-System mit ovaler Lichtverteilung (396 W) ergibt sich also eine Erhöhung der Anschlussleistung um 9 %.

Leistungsdaten CFL (Kompaktleuchtstofflampe):

Lichtpunktabstand 3,6 m: $28 \times 2 \times 26 \text{ W} = 1.456 \text{ W}$

Gesamtleistung: 1.456 W

Im Vergleich zum LED-System mit ovaler Lichtverteilung (396 W) ergibt sich eine Erhöhung der Anschlussleistung um 268 %. Im Vergleich zum LED-System mit symmetrischer Lichtverteilung (432 W) ergibt sich eine Erhöhung der Anschlussleistung um 237 %.

Durch den Einsatz effizienter und hoch entwickelter Systeme lassen sich die Energiekosten in bestimmten Bereichen stark senken. Zudem werden dadurch die Wartung, die Steuerung sowie auch der Komfort verbessert. Die Investitionskosten sinken bei ordnungsgemäßer Planung.

Im oberhalb angeführten Beispiel sind zudem die Wartungspunkte (CFL: 2 Wartungspunkte pro Leuchte, LED: 1 Wartungspunkt) reduziert. Die Lebensdauer der Kompaktleuchtstofflampen wird mit ca. 10.000 h angegeben, das wäre 1/5 der propagierten LED-Lebensdauer (50.000 h).

3.4 Nassräume

3.4.1 Konventionelle Beleuchtung

Die Beleuchtung von Toiletten wird ebenfalls typischerweise mit Downlights mit Kompaktleuchtstofflampen durchgeführt.

Auf Grund ihrer technologischen Eigenschaften sind diese Leuchtmittel nicht für den Betrieb mit Anwesenheitssensoren geeignet, da bei häufigen An-/Auszyklen die Lebensdauer stark beeinträchtigt wird. Dies ist in Toiletten von besonderer Relevanz.

Durch ihre technischen Einschränkungen sind sie für den Einsatz in meist engeren und nicht sehr häufig genutzten Toiletten nicht empfehlenswert.

3.4.2 Optimale Beleuchtung

Die Beleuchtung von Nassräumen sollte mit Leuchten mit der Schutzart IP44 (spritzwassergeschützt) durchgeführt werden. Durch den Einsatz von Anwesenheitssensoren wird die Beleuchtung nur bei Bedarf aktiviert. Zusätzlich könnte durch eine gute Lichtplanung bei Räumen mit Tageslichtanteil eruiert werden, ob in Bereichen mit Tageslichteinfall die Beleuchtung gedimmt werden kann, was den Energieverbrauch weiter senken würde.

Zu erreichende Werte lt. EN 12464-1:

Garderoben, Bäder und Toiletten: $\bar{E}_m = 200 \text{ Lux}$

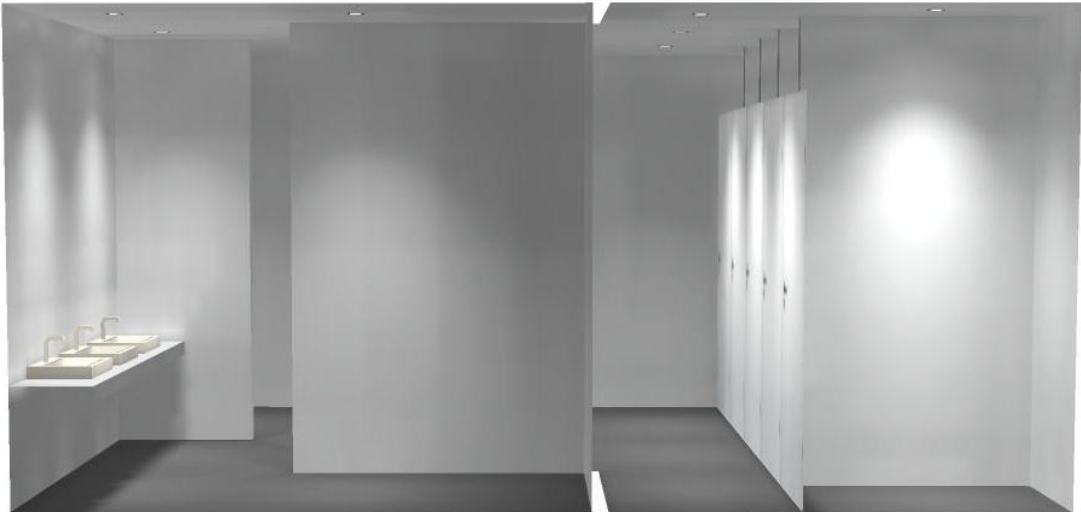


Abbildung 22: 3D Rendering – typische Toilette

Quelle: Eigene Darstellung im Programm Dialux, dial.de, 2016

Die Beleuchtung der Toilette wurde mit Einbauleuchten durchgeführt, wobei auf Grund der Dimensionen eine andere Type in der Kabine (Type B) benötigt wird bzw. Sinn macht.

3.4.3 Systemvergleich

Leistungsdaten LED:

Downlights Type A: $9 \times 9 \text{ W} = 81 \text{ W}$

Downlights Type B: $5 \times 14 \text{ W} = 70 \text{ W}$

Gesamtleistung: 151 W

Leistungsdaten CFL (Kompaktleuchtstofflampe):

Downlights Type A: $9 \times 32 \text{ W} = 288 \text{ W}$

Downlights Type B: $5 \times 2 \times 32 \text{ W} = 320 \text{ W}$

Gesamtleistung: 608 W

Im Vergleich zum LED-System (151 W) ergibt sich eine Erhöhung der Anschlussleistung um 302 %.

Dies ist ein gutes Beispiel dafür, dass LED-Systeme unter bestimmten Voraussetzungen (z.B. Raumdimensionen) wesentliche Vorteile bieten. Gründe für eine im Vergleich zum LED-System offensichtlich mangelnde Effizienz liegen in der Technologie der Kompaktleuchtstofflampen bzw. der Leuchten mit Einsatz dieser Leuchtmittel.

Auf Grund der Dimension der Lichtquelle ist die Lichtlenkung (mittels Reflektoren) nur mit großen Verlusten möglich bzw. ist diese Lichtquelle bei eng strahlender Charakteristik wesentlich ineffizienter als ein vergleichbares LED- oder Halogendownlight.

3.5 Besprechungszimmer

3.5.1 Konventionelle Beleuchtung

Die Beleuchtung von Lehrer-, Konferenz- und Besprechungszimmern in Schulen wird im Normalfall mit Leuchtstofflampen realisiert. Für die Allgemeinbeleuchtung können runde Einbaudownlights und für die Arbeitsplatzbeleuchtung geeignete Aufbau- oder Pendelleuchten eingesetzt werden. Auch in diesen Räumen ist die Beleuchtung selten auf die Bedürfnisse des Raumes bzw. der Szenarien ausgelegt und einstellbar.

3.5.2 Optimale Beleuchtung

Im unten angeführten Beispiel sollte die Beleuchtung in zwei Lichtkreise aufgeteilt werden. Im Korridorbereich dienen Downlights der Allgemeinbeleuchtung, im Arbeitsbereich sind abgehängte Leuchten auf Grund ihrer Effizienz und reduzierten Blendung am sinnvollsten.

Zu erreichende Werte lt. EN 12464-1:

Lehrerzimmer: $\bar{E}_m = 300 \text{ Lux}$, empfohlener Wert: $\bar{E}_m = 500 \text{ Lux}$

Verkehrsfläche: $\bar{E}_m = 100 \text{ Lux}$, empfohlener Wert: $\bar{E}_m = 100\text{-}200 \text{ Lux}$

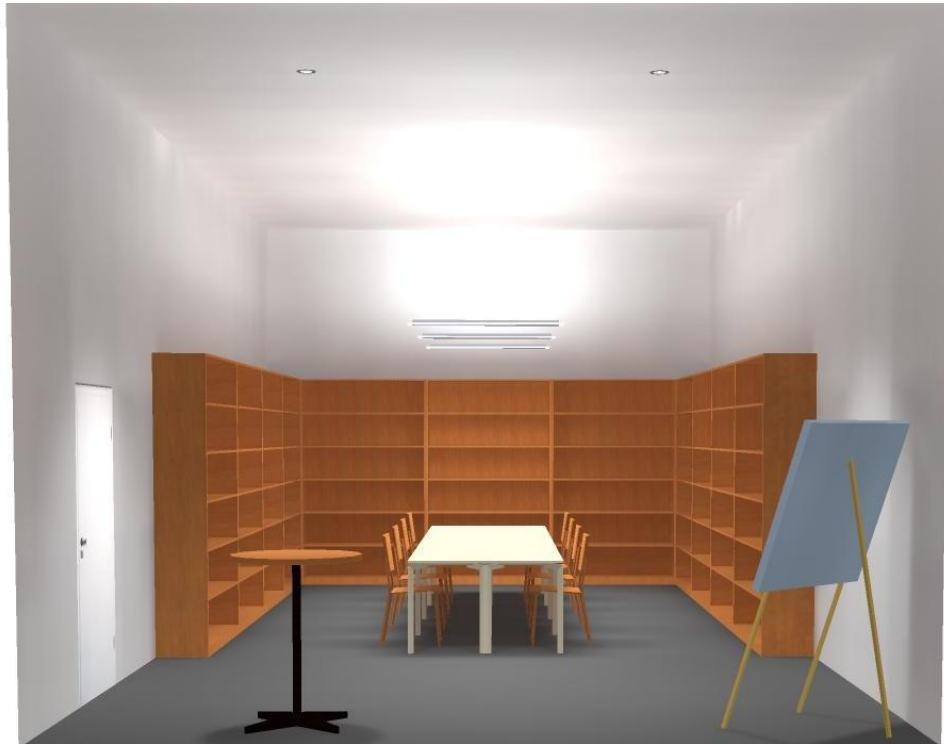


Abbildung 23: 3D Rendering – Besprechungsraum

Quelle: Eigene Darstellung im Programm Dialux, dial.de, 2016

Im angeführten Beispiel werden die Besprechungstische von 3 abgehängten Systemen beleuchtet, der Korridor- bzw. Allgemeinbereich von 2 Deckeneinbaudownlights.

3.5.3 Systemvergleich

Leistungsdaten LED:

Downlights: $2 \times 18 \text{ W} = 36 \text{ W}$

Abgehängte Leuchten: $3 \times 62 \text{ W} = 186 \text{ W}$

Gesamtleistung: 222 W

Leistungsdaten Leuchtstofflampen:

Downlights: $2 \times 32 \text{ W} = 64 \text{ W}$

Abgehängte Leuchten: $3 \times 2 \times 54 \text{ W} = 324 \text{ W}$

Gesamtleistung: 388 W

Im Vergleich zum LED-System (222 W) ergibt sich eine Erhöhung der Anschlussleistung um 75 %.

4 Ökonomische Betrachtung

4.1 Typische Schuleinrichtung – Annahmen

Zur wirtschaftlichen Betrachtung einer Schuleinrichtung müssen die Kenndaten bekannt sein, d.h. Anzahl der Klassenzimmer, Nassräume, etc.

Da diese Werte in keinem speziellen Beispiel bekannt sind, werden folgende Annahmen für eine typische Schule getroffen:

Unterrichtsräume: 56

Besprechungszimmer: 6

Toiletten: 12

Gesamtlänge Korridore: 700 m

Betriebsstunden pro Jahr:

Unterrichts- bzw. Anwesenheitszeit von 07:00 bis 20:00 Uhr:

13 Stunden x 185 Schultage \approx 2400 Stunden.

4.2 Ökonomische Faktoren

Für den ökonomischen Vergleich der Beleuchtungssysteme sind die folgenden Faktoren relevant:

- Materialkosten (Anschaffungskosten)
- Energiekosten (Preissteigerungen sind nicht berücksichtigt)
- Wartungskosten (Kosten für den Lampenwechsel)

Die Kapitalkosten werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, da eine generelle Aussage über die verglichenen Systeme getroffen werden soll und die Kapitalkosten stark von der Institution, deren finanzieller Situation und möglichen Förderungen abhängen.

Auch mögliche Förderungen wurden nicht berücksichtigt, da diese, je nach Standort (Land, Bundesland) und Zeitpunkt, variieren.

In den folgenden Beispielen wurde die Gesamtkostensituation in der geplanten Systemlebensdauer der Beleuchtungsanlage von 20 Jahren betrachtet.

Die Energiekosten wurden für jeden Bereich berechnet. Diese setzen sich aus der Gesamtleistung in Kilowatt, den Betriebsstunden (2400 h) und dem aktuellen Strompreis (15 Cent pro Kilowattstunde) zusammen.

Bei den Wartungskosten wurden die Kosten des Leuchtmittels für den Leuchtmitteltausch berücksichtigt. Der Leuchtmitteltausch selbst, also die Tätigkeit, wurde nicht in die ökonomische Betrachtung miteinbezogen, da dieser, je nach Einrichtung und möglichem Wartungsvertrag, unterschiedlich ausfällt.

4.3 Unterrichtsräume

4.3.1 Ökonomische Bewertung: LED-System

56 Unterrichtsräume im Schulgebäude vorhanden

Leuchte	Type	Leistung Leuchte	Anzahl Raum	Leistung Schule	Anzahl Schule	Einzel- preis Liste	Gesamt- preis Liste
Downlight	Quintessence Linsenwandflu- ter	36 W	7	14.112 W	392	916 €	359.072 €
Abge- hängte Leuchte	Vega mit DPT	45 W	12	30.240 W	672	780 €	524.160 €
Summe				44.352 W			883.232 €

Tabelle 3: Ökonomische Bewertung: LED-System

Quelle: Eigene Darstellung, 2016

Anschaffungskosten des Systems: $K_{LED, A} = 392 \times 916 \text{ €} + 672 \times 780 \text{ €} = 883.232 \text{ €}$

Weitere wirtschaftlich interessante Faktoren:

Lebensdauer LED-System: $50.000 \text{ h} : 2400 \text{ Betriebsstunden} = \text{ca. } 20 \text{ Jahre}$

Die Lebensdauer des LED-Systems beträgt 20 Jahre, dies entspricht der Systemlebensdauer.

Da der Austausch der Lichtquellen (Leuchtmittel) auf Grund mangelnder Standardisierung bei dem LED-System nicht möglich ist, ist eine Neuinvestition nach der Systemlebensdauer notwendig.

Wartungspunkte: $392 \text{ Downlights} + 672 \text{ abgehängte Leuchten} = 1.064 \text{ Wartungspunkte}$

Unter Wartungspunkten werden die einzelnen Lichtquellen verstanden, die im Laufe der Systemlebensdauer ausfallen könnten.

Gesamtleistung x Betriebsstunden: $44 \text{ kW} \times 2400 \text{ h} = 105.600 \text{ kWh} / \text{Jahr}$

Gesamtenergiekosten pro Jahr: $K_{\text{LED, EGa}} = 105.600 \text{ kWh} \times 0,15 \text{ €} = 15.840 \text{ €}$

Gesamtenergiekosten, bezogen auf Systemlebensdauer:

$$K_{\text{LED, EG}} = 15.840 \text{ €} \times 20 = 316.800 \text{ €}$$

Gesamtkosten des Systems, bezogen auf Systemlebensdauer:

$$K_{\text{LED, GES}} = K_{\text{LED, A}} + K_{\text{LED, EG}} = 883.232 \text{ €} + 316.800 \text{ €} = 1.200.032 \text{ €}$$

4.3.2 Ökonomische Bewertung: Konventionelles System

56 Unterrichtsräume im Schulgebäude vorhanden

Leuchte	Type	Leistung Leuchte	Anzahl Raum	Leistung Schule	Anzahl Schule	Einzel- preis Liste	Gesamt- preis Liste
Downlight	CCT Wall Washer	2 x 26 W	7	20.384 W	392	325 €	127.400 €
Abgehängte Leuchte	Novaluna S mit Eldacon	2 x 28 W	12	37.632 W	672	924 €	620.928 €
Summe				58.016 W			748.328 €

Tabelle 4: Ökonomische Bewertung: konventionelles System

Quelle: Eigene Darstellung, 2016

Anschaffungskosten des Systems:

$$K_{\text{KONV}, A} = 392 \times 325 \text{ €} + 672 \times 924 \text{ €} = 748.328 \text{ €}$$

Weitere wirtschaftlich interessante Faktoren:

Lebensdauer lineare Leuchtstofflampe T5 28 W: 40.000 h (longlife T5)

Lampenwechsel T5: 40.000 h : 2400 Betriebsstunden = ca. alle 16 Jahre

Kosten des Lampenwechsels für T5 alle 16 Jahre: $K_{\text{KONV}, W1} = 2 \times 672 \times 10 \text{ €} = 13.440 \text{ €}$

Die Kosten für den Lampenwechsel der T5 Leuchtmittel bestehen aus der Anzahl der Leuchtmittel ($2 \times 672 = 1.344$ Stück) und dem Preis für ein Leuchtmittel (10 €).

Lebensdauer Kompaktleuchtstofflampe TC-TEL 26 W: 10.000 h

Lampenwechsel TC-TEL: 10.000 h : 2400 Betriebsstunden = ca. alle 4 Jahre

Kosten des Lampenwechsels alle 4 Jahre: $K_{\text{KONV}, W2n} = 2 \times 392 \times 3 \text{ €} = 2.352 \text{ €}$

Kosten des Lampenwechsels für TC-TEL, bezogen auf Systemlebensdauer:

$$K_{\text{KONV}, W2} = 5 \times 2.352 \text{ €} = 11.760 \text{ €}$$

Die Kosten für den Lampenwechsel der TC-TEL Leuchtmittel bestehen aus der Anzahl der Leuchtmittel ($2 \times 392 = 784$ Stück), dem Preis für ein Leuchtmittel (3 €) sowie der Anzahl der Lampenwechsel ($5 \times$ in 20 Jahren).

Kosten des Lampenwechsels für T5 und TC-TEL, bezogen auf Systemlebensdauer:

$$K_{\text{KONV}, W} = 13.440 \text{ €} + 11.760 \text{ €} = 25.200 \text{ €}$$

Durch die Möglichkeit des Lampenwechsels ist das Beleuchtungssystem auch noch nach 20 Jahren einsetzbar, sofern andere Komponenten nicht defekt sind. Dies ist ein Vorteil der konventionellen Beleuchtungssysteme.

Wartungspunkte: 2×392 Lampen (Downlights) + 2×672 Lampen (abgehängte Leuchten) = 2.128 Wartungspunkte

Auf Grund der höheren Anzahl der Wartungspunkte (Leuchtmittel) und der Lebensdauer der Leuchtmittel des konventionellen Systems ist mit höheren Wartungskosten zu rechnen.

Gesamtleistung x Betriebsstunden: $58 \text{ kW} \times 2400 \text{ h} = 139.200 \text{ kWh} / \text{Jahr}$

Gesamtenergiekosten pro Jahr: $K_{\text{KONV}, \text{EGa}} = 139.200 \text{ kWh} \times 0,15 \text{ €} = 20.880 \text{ €}$

Gesamtenergiekosten, bezogen auf Systemlebensdauer:

$$K_{\text{KONV}, \text{EG}} = 20.880 \text{ €} \times 20 = 417.600 \text{ €}$$

Gesamtkosten des Systems, bezogen auf Systemlebensdauer:

$$K_{\text{KONV}, \text{GES}} = K_{\text{KONV}, A} + K_{\text{KONV}, W} + K_{\text{KONV}, \text{EG}} = 748.328 \text{ €} + 25.200 \text{ €} + 417.600 \text{ €} = 1.191.128 \text{ €}$$

4.3.3 Ökonomische Bewertung: Vergleich der Systeme

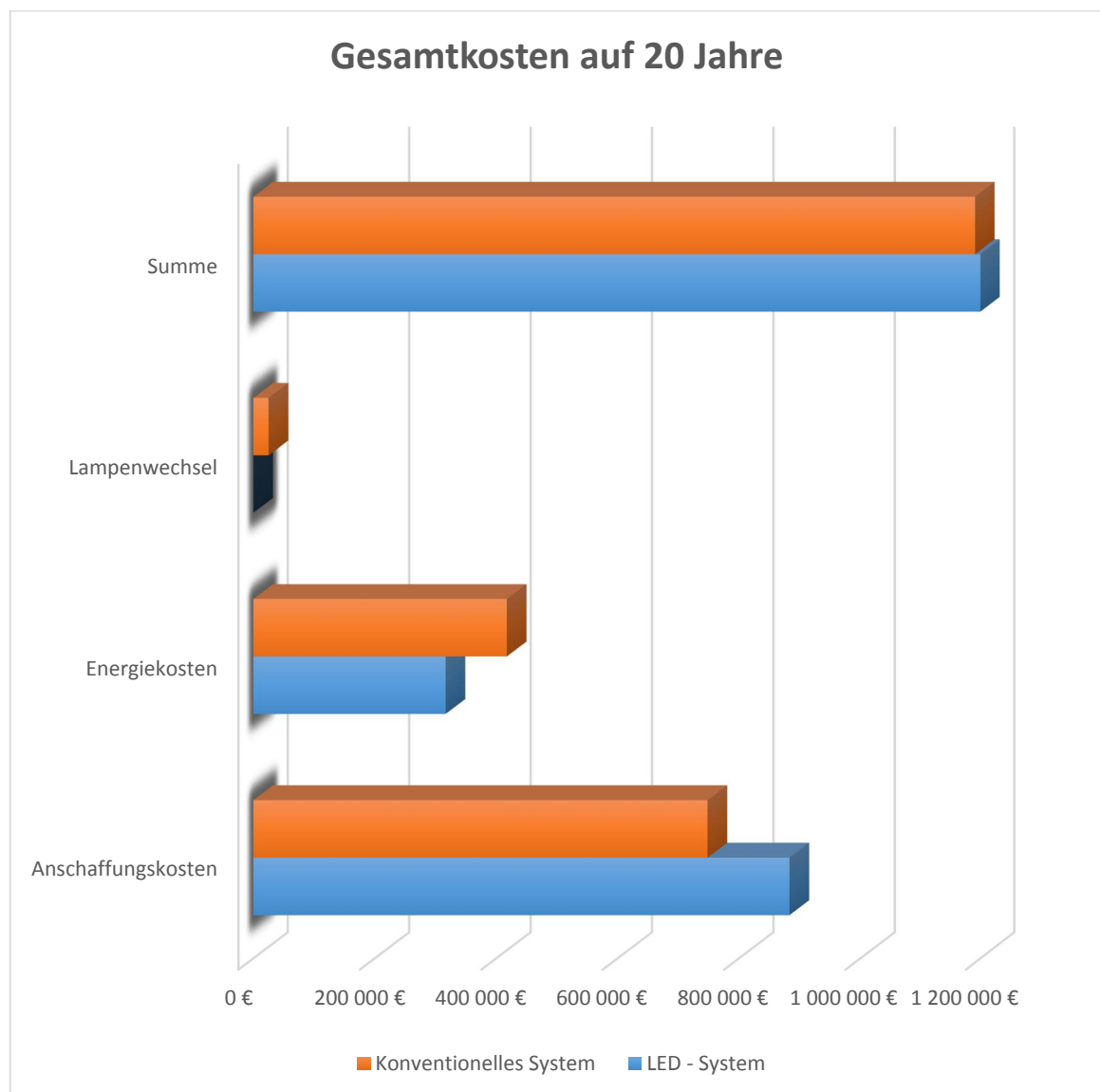


Abbildung 24: Vergleich der Systeme: Gesamtkosten auf 20 Jahre

Quelle: Eigene Darstellung, 2016

Die Betrachtung der Gesamtkosten, bestehend aus Anschaffungs-, Energie- und Wartungskosten, zeigt im Überblick die Gesamtkosten des Beleuchtungssystems über die Dauer von 20 Jahren. Diese vereinfachte Darstellung zeigt die Unterschiede der Systeme. Während die Kosten für den Lampenwechsel und die Energiekosten des konventionellen Systems höher ausfallen, sind die Anschaffungskosten im Vergleich zum LED-System geringer.

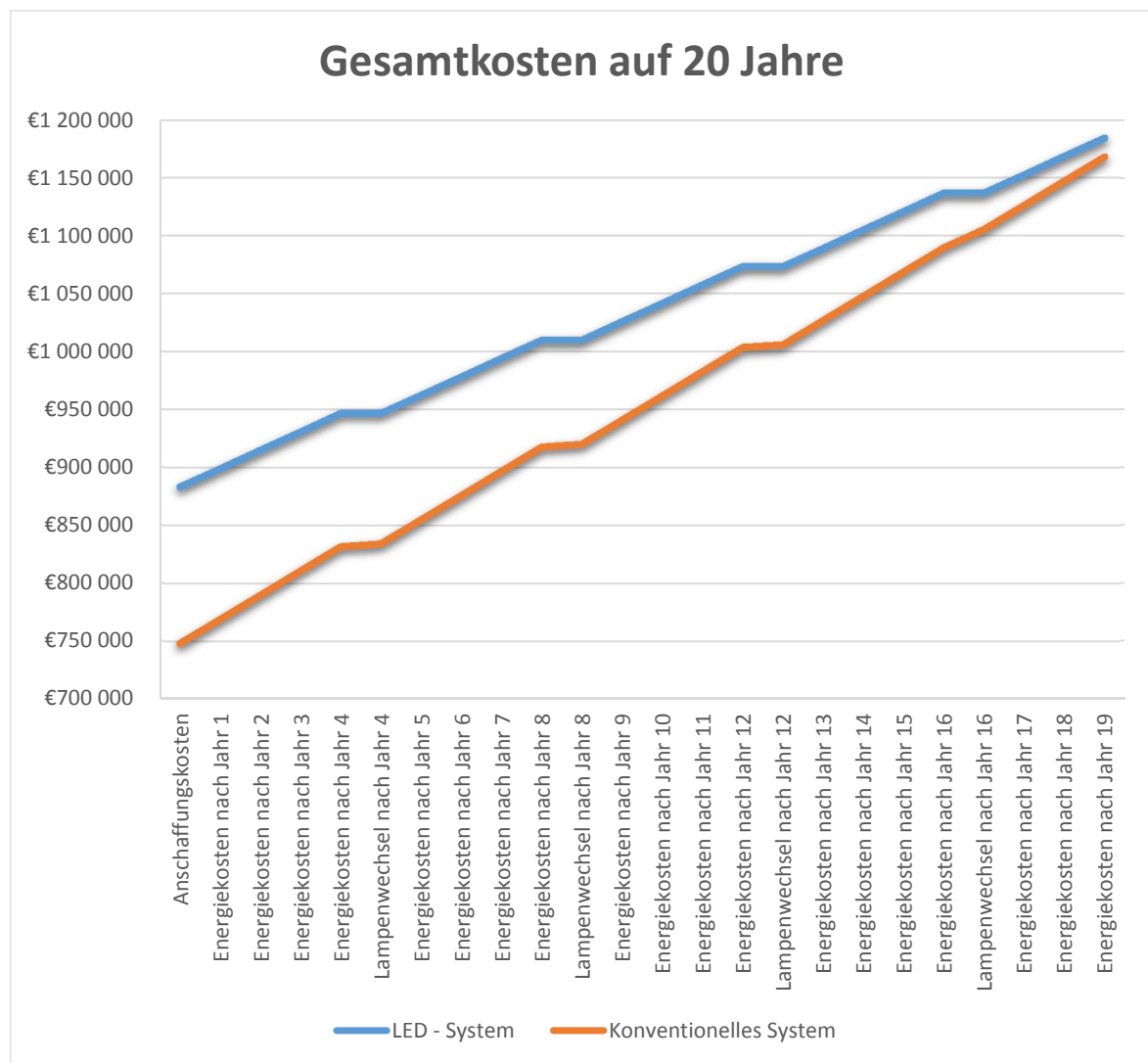


Abbildung 25: Vergleich der Systeme: jährliche Kosten

Quelle: Eigene Darstellung, 2016

Durch die erhöhten Investitionskosten des LED-Systems ist dieses zu Beginn teurer, dank geringerer Energiekosten und fehlenden Kosten für Ersatzleuchtmittel „holt“ dieses System langsam auf. In dieser Betrachtung fehlen die Kosten für die Arbeit des Leuchtmittelwechsels, welche bei den konventionellen Leuchtmitteln anfallen. Diese zusätzlichen Kosten könnten u.U. dazu führen, dass das LED-System innerhalb der Systemlebensdauer wirtschaftlich vorteilhafter wird.

An diesem Beispiel wird klar, dass ein LED-System rein wirtschaftlich nicht immer im Vorteil sein muss, jedoch auf Grund vieler weiterer Faktoren auch in diesem Fall u.U. empfehlenswert ist.

4.4 Korridore

4.4.1 Ökonomische Bewertung: LED-System – ovale Lichtverteilung

700 m Korridor im Schulgebäude vorhanden – 4,5 m Lichtpunktabstand – ca. 156 Leuchten

Leuchte	Type	Leistung Leuchte	Leistung Schule	Anzahl Schule	Einzelpreis Liste	Gesamtpreis Liste
Downlight	Skim oval	18 W	2.808 W	156	298 €	46.488 €
Summe			2.808 W			46.488 €

Tabelle 5: Ökonomische Bewertung: LED-System 1

Quelle: Eigene Darstellung, 2016

Anschaffungskosten des Systems: $K_{LED1, A} = 156 \times 298 \text{ €} = 46.488 \text{ €}$

Weitere wirtschaftlich interessante Faktoren:

Lebensdauer LED-System: 50.000 h : 2400 Betriebsstunden = ca. 20 Jahre

Wartungspunkte: 156 Downlights = 156 Wartungspunkte

Gesamtleistung x Betriebsstunden: 2,8 kW x 2400 h = 6.720 kWh / Jahr

Gesamtenergiekosten pro Jahr: $K_{LED1, EGa} = 6.720 \text{ kWh} \times 0,15 \text{ €} = 1.008 \text{ €}$

Gesamtenergiekosten, bezogen auf Systemlebensdauer:

$K_{LED1, EG} = 1.008 \text{ €} \times 20 = 20.160 \text{ €}$

Gesamtkosten des Systems, bezogen auf Systemlebensdauer:

$K_{LED1, GES} = K_{LED1, A} + K_{LED1, EG} = 46.488 \text{ €} + 20.160 \text{ €} = 66.648 \text{ €}$

4.4.2 Ökonomische Bewertung: LED-System – sym. Lichtverteilung

700 m Korridor im Schulgebäude vorhanden – 4,1 m Lichtpunktabstand – ca. 171 Leuchten

Leuchte	Type	Leistung Leuchte	Leistung Schule	Anzahl Schule	Einzel- preis Liste	Gesamt- preis Liste
Downlight	Skim symmetrisch	18 W	3.078 W	171	298 €	50.958 €
Summe			3.078 W			50.958 €

Tabelle 6: Ökonomische Bewertung: LED-System 2

Quelle: Eigene Darstellung, 2016

Anschaffungskosten des Systems: $K_{LED2, A} = 171 \times 298 \text{ €} = 50.958 \text{ €}$

Weitere wirtschaftlich interessante Faktoren:

Lebensdauer LED-System: 50.000 h : 2400 Betriebsstunden = ca. 20 Jahre

Wartungspunkte: 171 Downlights = 171 Wartungspunkte

Gesamtleistung x Betriebsstunden: $3,1\text{kW} \times 2400 \text{ h} = 7.440 \text{ kWh} / \text{Jahr}$

Gesamtenergiekosten pro Jahr: $K_{LED2, EGa} = 7.440 \text{ kWh} \times 0,15 \text{ €} = 1.116 \text{ €}$

Gesamtenergiekosten, bezogen auf Systemlebensdauer:

$K_{LED2, EG} = 1.116 \text{ €} \times 20 = 22.320 \text{ €}$

Gesamtkosten des Systems, bezogen auf Systemlebensdauer:

$K_{LED2, GES} = K_{LED2, A} + K_{LED2, EG} = 50.958 \text{ €} + 22.320 \text{ €} = 73.278 \text{ €}$

4.4.3 Ökonomische Bewertung: Konventionelles System

700 m Korridor im Schulgebäude vorhanden – 3,6 m Lichtpunktabstand – ca. 195 Leuchten

Leuchte	Type	Leistung Leuchte	Leistung Schule	Anzahl Schule	Einzelpreis Liste	Gesamtpreis Liste
Downlight	CCT Flash	2 x 26 W	10.140 W	195	247 €	48.165 €
Summe			10.140 W			48.165 €

Tabelle 7: Ökonomische Bewertung: konventionelles System

Quelle: Eigene Darstellung, 2016

Anschaffungskosten des Systems: $K_{\text{KONV, A}} = 195 \times 247 \text{ €} = 48.165 \text{ €}$

Weitere wirtschaftlich interessante Faktoren:

Lebensdauer Kompaktleuchtstofflampe TC-TEL 26 W: 10.000 h

Lampenwechsel TC-TEL: $10.000 \text{ h} : 2400 \text{ Betriebsstunden} = \text{ca. alle 4 Jahre}$

Kosten des Lampenwechsels alle 4 Jahre: $K_{\text{KONV, Wn}} = 2 \times 195 \times 3 \text{ €} = 1.170 \text{ €}$

Kosten des Lampenwechsels für TC-TEL, bezogen auf Systemlebensdauer:

$K_{\text{KONV, W}} = 5 \times 1.170 \text{ €} = 5.850 \text{ €}$

Wartungspunkte: $2 \times 195 \text{ Lampen (Downlights)} = 390 \text{ Wartungspunkte}$

Gesamtleistung x Betriebsstunden: $10,1 \text{ kW} \times 2400 \text{ h} = 24.240 \text{ kWh}$

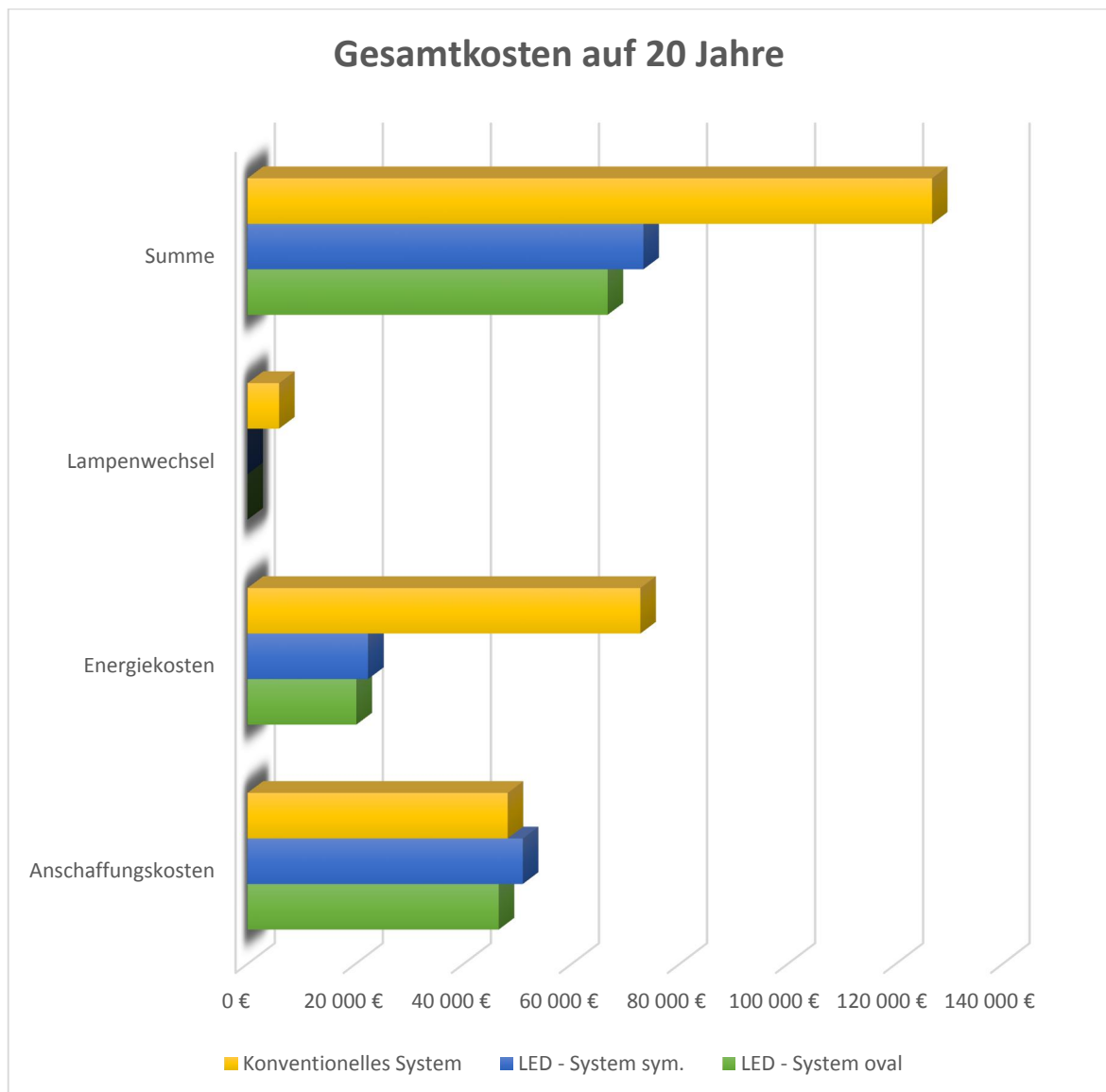
Gesamtenergiekosten pro Jahr: $K_{\text{KONV, EGa}} = 24.240 \text{ kWh} \times 0,15 \text{ €} = 3.636 \text{ €}$

Gesamtenergiekosten, bezogen auf Systemlebensdauer:

$K_{\text{KONV, EG}} = 3.636 \text{ €} \times 20 = 72.720 \text{ €}$

Gesamtkosten des Systems, bezogen auf Systemlebensdauer:

$K_{\text{KONV, GES}} = K_{\text{KONV, A}} + K_{\text{KONV, W}} + K_{\text{KONV, EG}} = 48.165 \text{ €} + 5.850 \text{ €} + 72.720 \text{ €} = 126.735 \text{ €}$

4.4.4 Ökonomische Bewertung: Vergleich der Systeme**Abbildung 26: Vergleich der Systeme: Gesamtkosten auf 20 Jahre**

Quelle: Eigene Darstellung, 2016

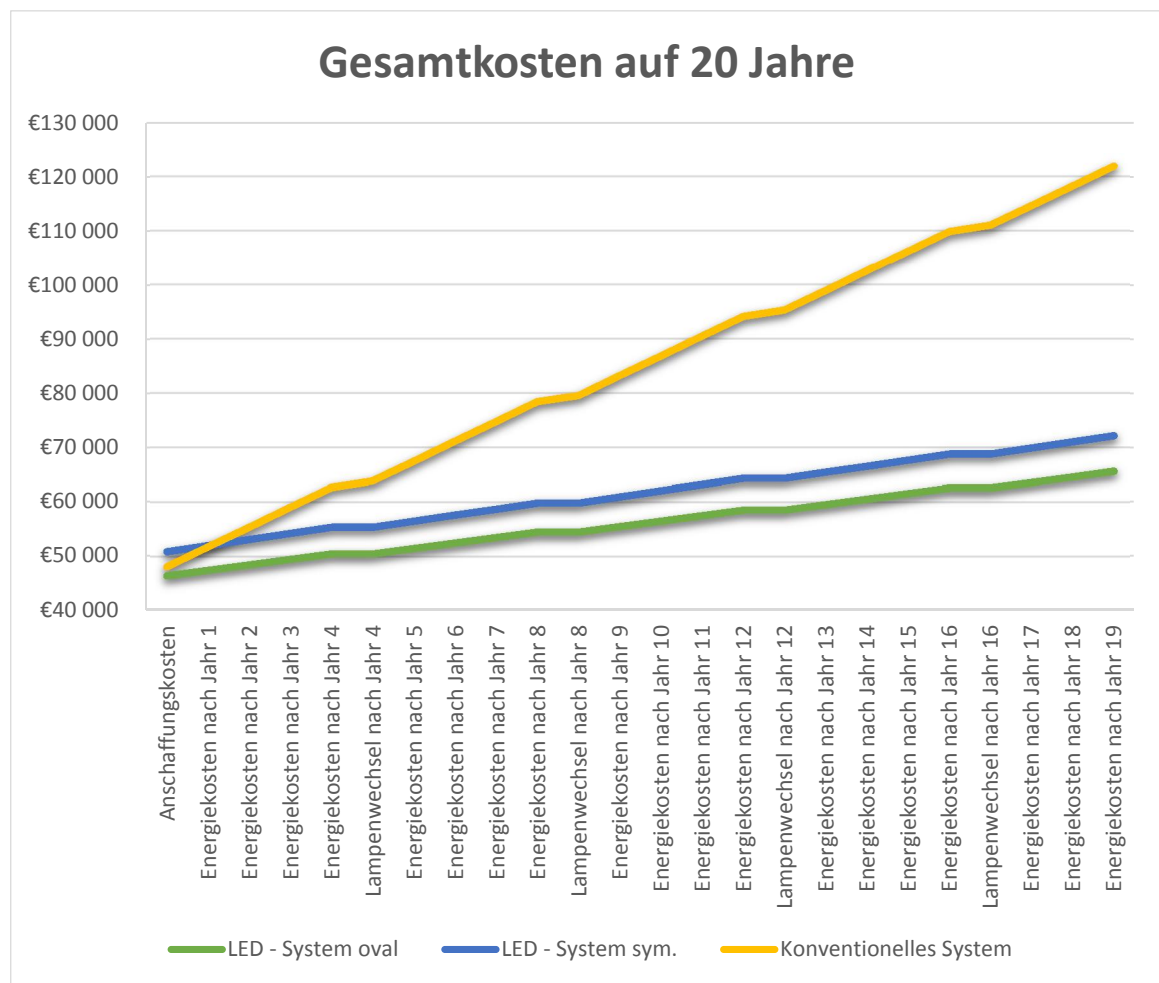


Abbildung 27: Vergleich der Systeme: jährliche Kosten

Quelle: Eigene Darstellung, 2016

An diesem Beispiel sieht man sehr deutlich, wie sich eine intelligente Lichtplanung finanziell auswirken kann. Während die Anschaffungskosten annähernd gleich ausfallen, sind durch die geringeren Energie- und Wartungskosten hohe Einsparungspotenziale vorhanden.

In Korridorbereichen ist ein LED-System dank dessen Effizienz und möglicher Lichtlenkung anderen Technologien überlegen. Durch die unbegrenzte Schaltbarkeit des Systems ist es im Vergleich zu einer Beleuchtung mit (Kompakt-)Leuchtstofflampen auch ohne negativen Einfluss auf die Lebensdauer einsetzbar.

Wichtig für diese Bereiche ist die Auswahl der Leuchten, da neben Faktoren wie Lichtleistung auch die Lichtverteilung von Bedeutung ist. Typischerweise sind Downlights mit Ausstrahlcharakteristiken von z.B. 15° , 30° oder 45° verfügbar. Um jedoch eine möglichst geringe Stückzahl zu erreichen, sind besondere Lichtverteilungskurven (oval bzw. 60°) notwendig.

4.5 Nassräume

4.5.1 Ökonomische Bewertung: LED-System

12 Toiletten im Schulgebäude vorhanden

Leuchte	Type	Leistung Leuchte	Anzahl Raum	Leistung Schule	Anzahl Schule	Einzel- preis Liste	Gesamt- preis Liste
Downlight Type A	Miniarc LED	9 W	9	972 W	108	208 €	22.464 €
Downlight Type B	Miniarc LED	14 W	5	840 W	60	273 €	16.380 €
Summe				1.812 W			38.884 €

Tabelle 8: Ökonomische Bewertung: LED-System

Quelle: Eigene Darstellung, 2016

Anschaffungskosten des Systems: $K_{LED, A} = 108 \times 208 \text{ €} + 60 \times 273 \text{ €} = 38.884 \text{ €}$

Weitere wirtschaftlich interessante Faktoren:

Lebensdauer LED-System: $50.000\text{h} : 2400 \text{ Betriebsstunden} = \text{ca. } 20 \text{ Jahre}$

Wartungspunkte: 168 Downlights = 168 Wartungspunkte

Gesamtleistung x Betriebsstunden: $1,8 \text{ kW} \times 2400 \text{ h} = 4.320 \text{ kWh} / \text{Jahr}$

Gesamtenergiekosten pro Jahr: $K_{LED, EGa} = 4.320 \text{ kWh} \times 0,15 \text{ €} = 648 \text{ €}$

Gesamtenergiekosten, bezogen auf Systemlebensdauer:

$K_{LED, EG} = 648 \text{ €} \times 20 = 12.960 \text{ €}$

Gesamtkosten des Systems, bezogen auf Systemlebensdauer:

$K_{LED, GES} = K_{LED, A} + K_{LED, EG} = 38.884 \text{ €} + 12.960 \text{ €} = 51.844 \text{ €}$

4.5.2 Ökonomische Bewertung: Konventionelles System

12 Toiletten im Schulgebäude vorhanden

Leuchte	Type	Leistung Leuchte	Anzahl Raum	Leistung Schule	Anzahl Schule	Einzel- preis Liste	Gesamt- preis Liste
Downlight Type A	CCT Flash flood	32 W	9	3.456 W	108	240 €	25.920 €
Downlight Type B	CCT Flash	2 x 32 W	5	3.840 W	60	273 €	16.380 €
Summe				7.296 W			42.300 €

Tabelle 9: Ökonomische Bewertung: konventionelles System

Quelle: Eigene Darstellung, 2016

Anschaffungskosten des Systems: $K_{\text{KONV, A}} = 108 \times 240 \text{ €} + 60 \times 273 \text{ €} = 42.300 \text{ €}$

Weitere wirtschaftlich interessante Faktoren:

Lebensdauer Kompaktleuchtstofflampe TC-TEL 26 W: 10.000 h

Lampenwechsel TC-TEL: $10.000 \text{ h} : 2400 \text{ Betriebsstunden} = \text{ca. alle 4 Jahre}$

Kosten Lampenwechsel TC-TEL alle 4 Jahre: $K_{\text{KONV, Wn}} = (108 + 2 \times 60) \times 3 \text{ €} = 684 \text{ €}$

Kosten des Lampenwechsels für TC-TEL, bezogen auf Systemlebensdauer:
 $K_{\text{KONV, W}} = 5 \times 684 \text{ €} = 3.420 \text{ €}$

Wartungspunkte: $108 + 2 \times 60 \text{ Lampen (Downlights)} = 228 \text{ Wartungspunkte}$

Gesamtleistung x Betriebsstunden: $7,3 \text{ kW} \times 2400 \text{ h} = 17.520 \text{ kWh}$

Gesamtenergiekosten pro Jahr: $K_{\text{KONV, EGa}} = 17.520 \text{ kWh} \times 0,15 \text{ €} = 2.628 \text{ €}$

Gesamtenergiekosten, bezogen auf Systemlebensdauer:

$K_{\text{KONV, EG}} = 2.628 \text{ €} \times 20 = 52.560 \text{ €}$

Gesamtkosten des Systems, bezogen auf Systemlebensdauer:

$$K_{\text{KONV, GES}} = K_{\text{KONV, A}} + K_{\text{KONV, W}} + K_{\text{KONV, EG}} = 42.300 \text{ €} + 3.420 \text{ €} + 52.560 \text{ €} = 98.280 \text{ €}$$

4.5.3 Ökonomische Bewertung: Vergleich der Systeme

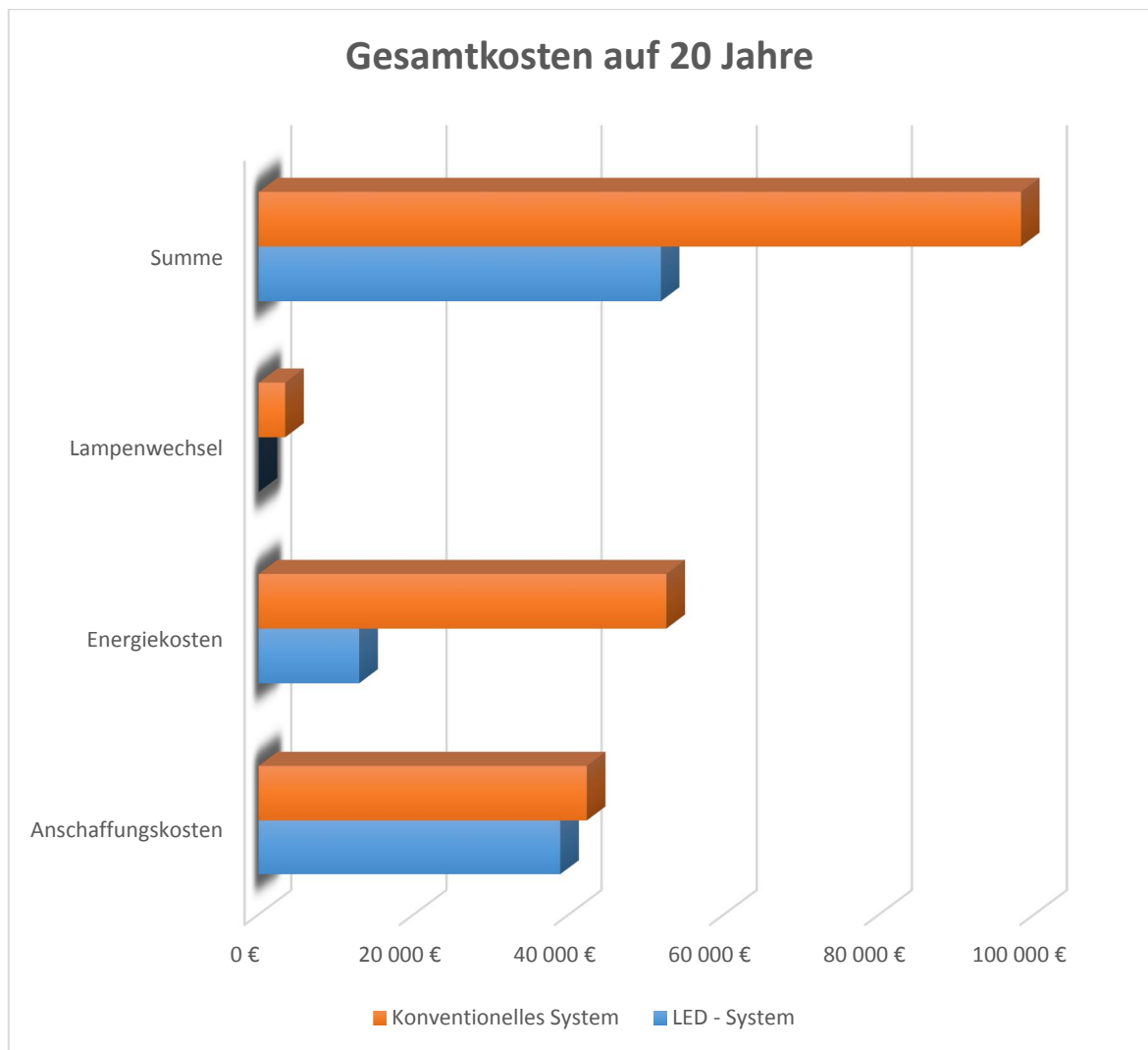


Abbildung 28: Vergleich der Systeme: Gesamtkosten auf 20 Jahre

Quelle: Eigene Darstellung, 2016

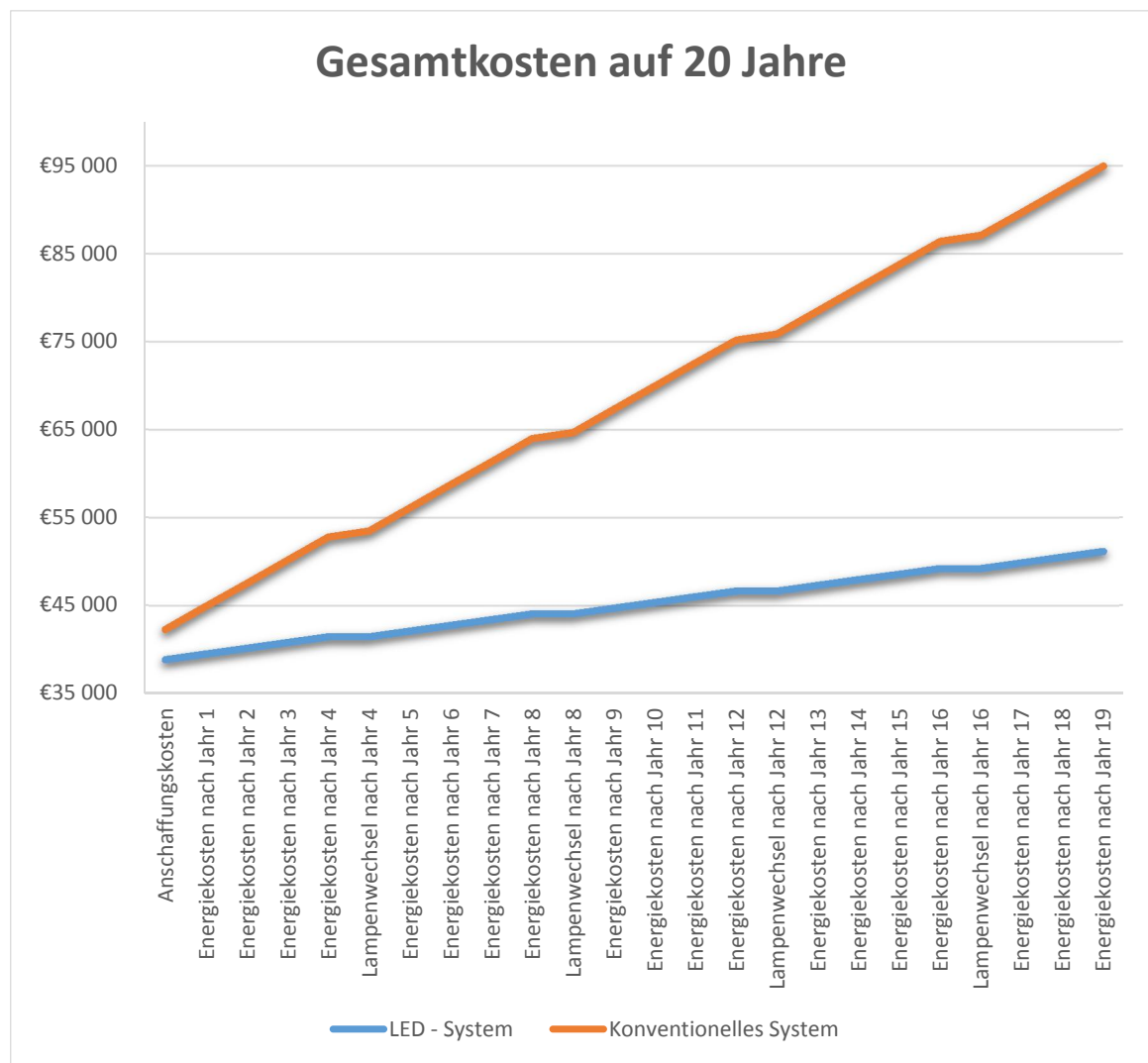


Abbildung 29: Vergleich der Systeme: jährliche Kosten

Quelle: Eigene Darstellung, 2016

Aus diesem Beispiel geht hervor, dass der Einsatz eines LED-Systems klar zu empfehlen und der Version mit Kompaktleuchtstofflampen vor allem aus ökonomischer Sicht vorzuziehen wäre.

Dank der effizienten Lichtlenkung ist eine starke Energieeinsparung im Vergleich zum System mit Kompaktleuchtstofflampen möglich.

4.6 Besprechungszimmer

4.6.1 Ökonomische Bewertung: LED-System

6 Besprechungszimmer im Schulgebäude vorhanden

Leuchte	Type	Leistung Leuchte	Anzahl Raum	Leistung Schule	Anzahl Schule	Einzel- preis Liste	Gesamt- preis Liste
Downlight	CCT LED Mini	18 W	2	216 W	12	200 €	2.400 €
Abgehängte Leuchte	Vega mit DPT	62 W	3	1.116 W	18	870 €	15.660 €
Summe				1.332 W			18.060 €

Tabelle 10: Ökonomische Bewertung: LED-System

Quelle: Eigene Darstellung, 2016

Anschaffungskosten des Systems: $K_{LED, A} = 12 \times 200 \text{ €} + 18 \times 870 \text{ €} = 18.060 \text{ €}$

Weitere wirtschaftlich interessante Faktoren:

Lebensdauer LED-System: $50.000 \text{ h} : 2400 \text{ Betriebsstunden} = \text{ca. } 20 \text{ Jahre}$

Wartungspunkte: $12 \text{ Downlights} + 18 \text{ abgehängte Leuchten} = 30 \text{ Wartungspunkte}$

Gesamtleistung x Betriebsstunden: $1,3 \text{ kW} \times 2400 \text{ h} = 3.120 \text{ kWh}$

Gesamtenergiekosten pro Jahr: $K_{LED, EGa} = 3.120 \text{ kWh} \times 0,15 \text{ €} = 468 \text{ €}$

Gesamtenergiekosten, bezogen auf Systemlebensdauer:

$K_{LED, EG} = 468 \text{ €} \times 20 = 9.360 \text{ €}$

Gesamtkosten des Systems, bezogen auf Systemlebensdauer:

$K_{LED, GES} = K_{LED, A} + K_{LED, EG} = 18.060 \text{ €} + 9.360 \text{ €} = 27.420 \text{ €}$

4.6.2 Ökonomische Bewertung: Konventionelles System

6 Besprechungszimmer im Schulgebäude vorhanden

Leuchte	Type	Leistung Leuchte	Anzahl Raum	Leistung Schule	Anzahl Schule	Einzel- preis Liste	Gesamt- preis Liste
Downlight	CCT Flash flood	32 W	2	384 W	12	240 €	2.880 €
Abgehängte Leuchte	Novaluna S mit Eldacon	2 x 54 W	4	2.592 W	24	924 €	22.176 €
Summe				2.976 W			25.056 €

Tabelle 11: Ökonomische Bewertung: konventionelles System

Quelle: Eigene Darstellung, 2016

Anschaffungskosten des Systems: $K_{\text{KONV}, A} = 12 \times 240 \text{ €} + 24 \times 924 \text{ €} = 25.056 \text{ €}$

Weitere wirtschaftlich interessante Faktoren:

Lebensdauer lineare Leuchtstofflampe T5 54 W: 40.000 h (longlife T5)

Lampenwechsel T5: 40.000 h : 2400 Betriebsstunden = ca. alle 16 Jahre

Kosten des Lampenwechsels für T5 alle 16 Jahre:

$$K_{\text{KONV}, W1} = 2 \times 24 \times 10 \text{ €} = 480 \text{ €}$$

Lebensdauer Kompaktleuchtstofflampe TC-TEL 26 W: 10.000 h

Lampenwechsel TC-TEL: 10.000 h : 2400 Betriebsstunden = ca. alle 4 Jahre

Kosten des Lampenwechsels alle 4 Jahre: $K_{\text{KONV}, W2n} = 2 \times 12 \times 3 \text{ €} = 72 \text{ €}$

Kosten des Lampenwechsels für TC-TEL, bezogen auf Systemlebensdauer:

$$K_{\text{KONV}, W2} = 5 \times 72 \text{ €} = 360 \text{ €}$$

Kosten des Lampenwechsels für T5 und TC-TEL, bezogen auf Systemlebensdauer:

$$K_{\text{KONV}, W} = 480 \text{ €} + 360 \text{ €} = 840 \text{ €}$$

Wartungspunkte: 12 Lampen (Downlights) + 2 x 24 Lampen (abgehängte Leuchten)
= 60 Wartungspunkte

Gesamtleistung x Betriebsstunden: 3 kW x 2400 h = 7.200 kWh

Gesamtenergiekosten pro Jahr: $K_{\text{KONV, EGa}} = 7.200 \text{ kWh} \times 0,15 \text{ €} = 1.080 \text{ €}$

Gesamtenergiekosten, bezogen auf Systemlebensdauer:

$K_{\text{KONV, EG}} = 1.080 \text{ €} \times 20 = 21.600 \text{ €}$

Gesamtkosten des Systems, bezogen auf Systemlebensdauer:

$K_{\text{KONV, GES}} = K_{\text{KONV, A}} + K_{\text{KONV, W}} + K_{\text{KONV, EG}} = 25.056 \text{ €} + 840 \text{ €} + 21.600 \text{ €} = 47.496 \text{ €}$

4.6.3 Ökonomische Bewertung: Vergleich der Systeme

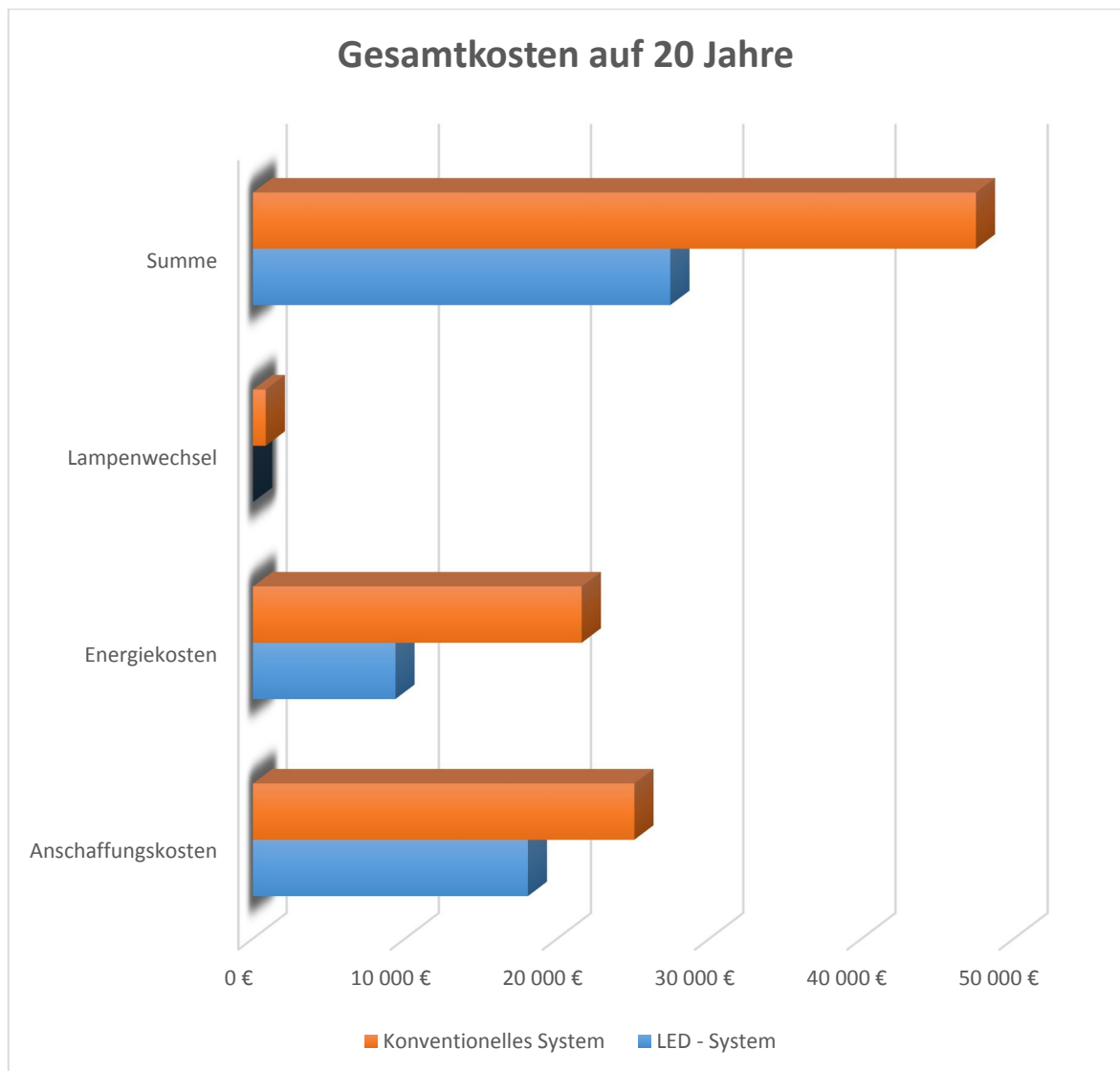


Abbildung 30: Vergleich der Systeme: Gesamtkosten auf 20 Jahre

Quelle: Eigene Darstellung, 2016

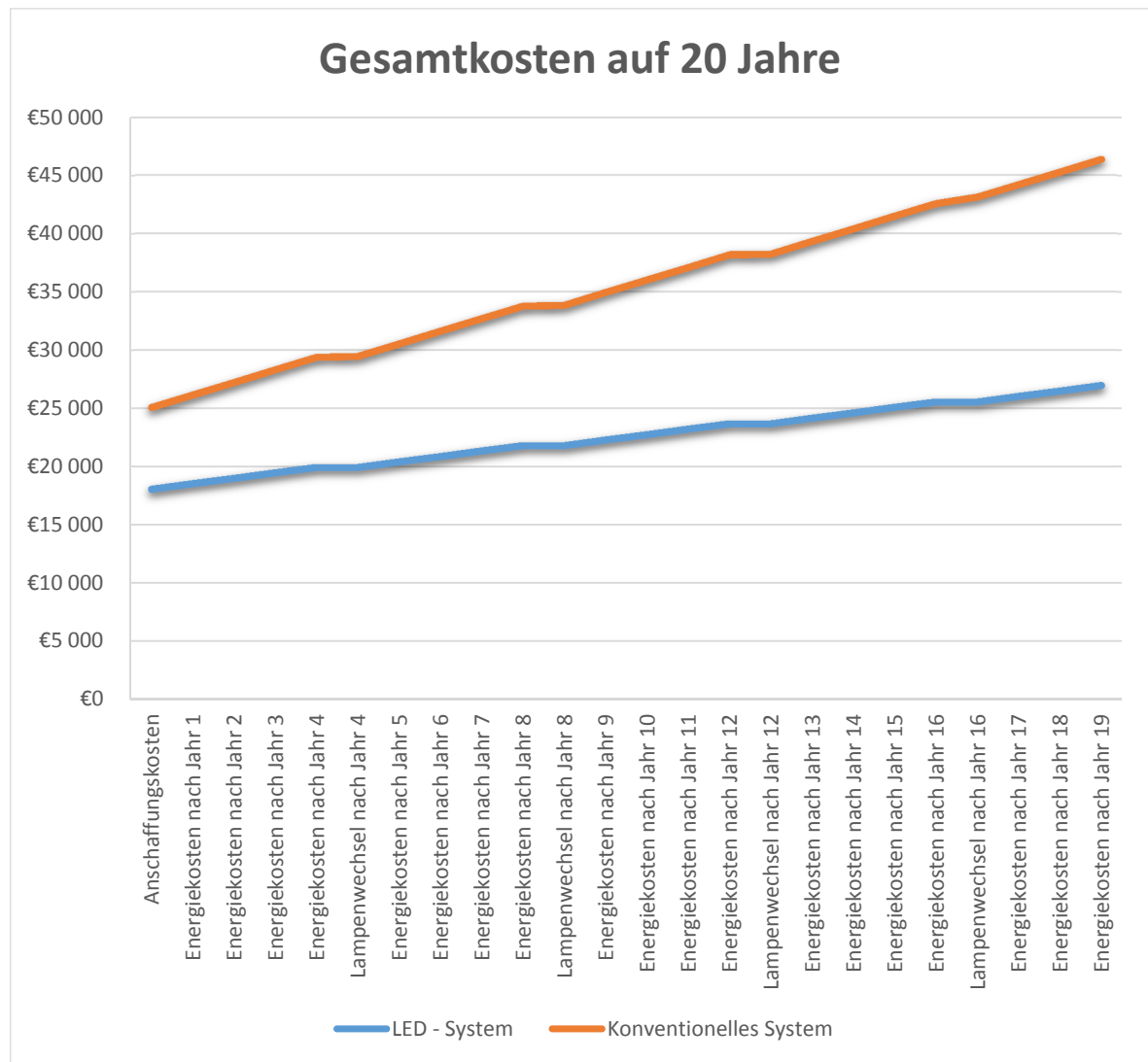


Abbildung 31: Vergleich der Systeme: jährliche Kosten

Quelle: Eigene Darstellung, 2016

In diesem Fall kann eine klare Empfehlung für das LED-System ausgesprochen werden. Dank geringer Anschaffungs- und Energiekosten sowie fehlender Kosten für Leuchtmitteltausch ist dieses System allein aus ökonomischer Sicht dem konventionellen System vorzuziehen.

4.7 Zusammenfassung der ökonomischen Betrachtung

An den gezeigten Beispielen wird die ökonomische Vorteilhaftigkeit der betrachteten LED-Systeme gezeigt. Trotz im Normalfall höherer Anschaffungskosten sind die LED-Systeme im Vergleich zu den konventionellen Systemen über die Lebensdauer kostengünstiger. Durch besondere Technologien der modernen LED-Systeme sind größere Leuchtenabstände und somit geringere Stückzahlen notwendig, welche die Anschaffungskosten reduzieren.

Die Prognosen verschiedener Institute und Analysten sagen einen starken Marktanstieg der LED-Systeme voraus, welcher jährlich erhöht wird.

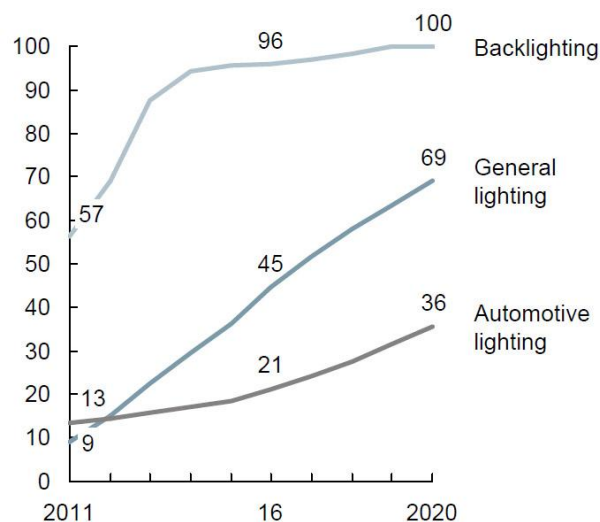


Abbildung 32: Marktanteile von LED

Quelle: Lighting the way – Perspectives on the global lighting market, McKinsey, 2012

Der Marktanstieg ist neben dem starken Marketing und der Forderung nach Einsatz von LED-Systemen in neuen Anlagen auch durch den starken Preisverfall der Technologie bedingt.



Abbildung 33: Prognose des Preisverfalls von LED-Systemen

Quelle: Lighting the way – Perspectives on the global lighting market, McKinsey, 2012

5 Conclusio

5.1 Kennzeichen konventioneller Technologien

Konventionelle Beleuchtung wird bzw. wurde aus folgenden verschiedenen Gründen eingesetzt (im Bereich von Schulen wird in dieser Arbeit auf Grund des großen Einsatzes auf die Leuchtstofflampe eingegangen):

Dieses Leuchtmittel ist im Vergleich zur Halogenlampe (und zu den Glühlampen) äußerst effizient, relativ kostengünstig und besticht durch eine lange Lebensdauer, wenn richtig geplant und ausgeführt.

Auf Grund mangelnder Alternativen gab es im professionellen Bereich keine bzw. kaum Alternativen zu diesem Leuchtmittel. Dank der LED-Technologie besteht seit kurzem jedoch die Möglichkeit, dieses Leuchtmittel zu vermeiden, dies macht vor allem auf Grund folgender Faktoren Sinn:

- Quecksilber und Entsorgung:

Quecksilber ist ein giftiges Schwermetall, das bereits bei Raumtemperatur Dämpfe abgibt, welche stark toxisch wirken. Ähnlichkeit mit nuklearen Materialien hat Quecksilber, weil es als gefährlicher Abfall deklariert und in Hochsicherheitsbereiche unter Tage einzulagern und zu überwachen ist. Hierbei sei auch die EG Verordnung Nr. 1102/2008 oder das Minamata-Übereinkommen genannt.

Die Verordnung des Europäischen Parlaments und Rates regelt „das Verbot der Ausfuhr von metallischem Quecksilber und bestimmten Quecksilberverbindungen und -gemischen und die sichere Lagerung von metallischem Quecksilber“.

Gründe für die Verordnung:

„Die Freisetzung von Quecksilber wird als globale Bedrohung erkannt, die Maßnahmen auf lokaler, regionaler, nationaler und globaler Ebene rechtfertigt.

Die auf Gemeinschaftsebene ergriffenen Maßnahmen sind als Teil der globalen Bemühungen zur Verringerung des Risikos der Quecksilberexposition zu sehen, insbesondere jener im Rahmen des Quecksilberprogramms des Umweltprogramms der Vereinten Nationen. [...].“⁵

Das Minamata-Übereinkommen ist ein völkerrechtlicher Vertrag, welcher auch von Österreich und Deutschland ratifiziert wurde. Das Abkommen beinhaltet Vorschriften zu quecksilberhaltigen Produkten, die ab 2020 verboten sind oder nur mit Einschränkungen gehandelt werden sollen.

„Recognizing that mercury is a chemical of global concern owing to its long-range atmospheric transport, its persistence in the environment once anthropogenically introduced, its ability to bioaccumulate in ecosystems and its significant negative effects on human health and the environment [...].“⁶

Weiters ist die Entsorgung erwähnenswert: Die quecksilberhaltigen Leuchtmittel (Leuchtstofflampen, „Energiesparlampen“, Metalldampflampen, etc.) müssen mit äußerster Vorsicht behandelt und speziellen Entsorgungsunternehmen übergeben werden. Leider scheint der Entsorgungsvorgang nicht mit der Sorgfalt zu geschehen, die notwendig wäre, um mit diesem giftigen Stoff korrekt umzugehen.

⁵ Vgl. Europäisches Parlament und Europäischer Rat, 2008.

⁶ Vgl. United Nations, 2013

Dies zeigt u.a. auch der sehr empfehlenswerte Dokumentarfilm „Bulb Fiction“⁷. Zudem gibt es keine bzw. teilweise widersprüchliche Aussagen dazu, wie bei einem Unfall (z.B. gebrochenes Leuchtmittel) mit Quecksilberschmutzung umzugehen ist.

- Lebensdauer:

Die propagierte, hohe Lebensdauer ist nur unter bestimmten Umständen zu erreichen. Ganz wichtig hierbei: Möglichst geringe Schaltzyklen bzw. wiederholte Schaltvorgänge und kurze Brenndauer vermeiden. Ein Einsatz von Leuchtstofflampen (Lineare Leuchtstofflampen, Kompaktleuchtstofflampen, „Energiesparlampen“) in Korridoren, Toiletten und ähnlichen Räumen, in denen die Beleuchtung nicht konstant für längere Zeit eingeschaltet ist, wird nicht empfohlen.

- Spektrale Verteilung:

Das menschliche Auge benötigt eine Mischung aus Rot, Grün und Blau (RGB), um „weißes“ Licht zu sehen. Da dies bei der Leuchtstofflampe durch verschiedene Leuchtstoffe und Technologien „einstellbar“ ist, versucht man, durch möglichst geringen Einsatz, (d.h. nur diese spektralen Anteile) ein gutes Ergebnis zu erzielen. Daraus resultiert jedoch eine teilweise schlechte Farbwiedergabe. Daher ist der Einsatz in Bereichen, in denen die Farbwiedergabe von Relevanz ist, nicht zu empfehlen.

In Bezug auf Auswirkungen von spektraler Lichtverteilung auf Faktoren wie Produktivität, Gesundheit oder Komfort gibt es bisher noch keine Studien.

⁷ Vgl. Mayr, 2011.

5.2 Kennzeichen der LED-Technologie

Dank hoher Effizienz des Leuchtmittels gewinnt die Technologie der Leuchtdiode immer mehr an Beachtung.

Die Vorteile:

- hohe Effizienz
- lange Lebensdauer
- unbegrenzt schaltbar
- kleine Abmessungen
- bruch- und vibrationsstabil
- gute Farbwiedergabe
- (theoretisch) keine UV/IR – Strahlung
- gerichtetes Licht (steuerbar über Linsen)

Der anfangs hohe Preis der Technologie sinkt immer mehr, zudem kann sich ein LED-System bei ordnungsgemäßer Projektierung nach relativ kurzer Zeit amortisieren.

Jedoch ist auch diese Technik nicht frei von Nachteilen und Problemen, einige seien hier genannt:

- Temperatur, richtige Verarbeitung und Lebensdauer:

Die LED-Technologie ist stark temperaturabhängig und auf diesen Umstand wird bei hochwertigen Leuchten über ein gutes Thermomanagement geachtet. Wenn das Thermomanagement nicht optimal ist, sinkt die Lebensdauer der LED rapide. Zudem ist die Verarbeitung der einzelnen LEDs sehr wichtig, da auch dies einen starken Einfluss auf die Lebensdauer hat.

Weiters muss darauf hingewiesen werden, dass die Angaben der Hersteller, z.B. 50.000 oder 100.000 Stunden, nicht gemessen sind. Es gibt, je nach Hersteller, verschiedene Messmethoden und Möglichkeiten, wie diese Angaben gemacht werden. Dies ist auch der schnellen Entwicklung dieser Technologie geschuldet (noch bevor eine Entwicklungsstufe eines LED-Systems ausgiebig getestet werden kann, ist oft die neue Stufe am Markt).

Eine typische Methode der Angabe der Lebensdauer: Eine gewisse Zeit wird das Produkt unter bestimmten Voraussetzungen gemessen (z.B. 6.000 – 10.000 h), dies wird dann herstellerindividuell extrapoliert.

- Lichtlenkung:

Die Leuchtdioden strahlen im Vergleich zu z.B. Halogenlampen nicht rundum, sondern direkt, sie sind also kein Punktlichtstrahler, sondern ein Flächenstrahler, und dementsprechend ist die Lichtlenkung über Reflektoren schwieriger.

Bei hochwertigen Leuchten bzw. Lichtlösungen wird das Licht über Linsen gesteuert. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass es auch hier Qualitätsunterschiede gibt und die Lichtlenkung u.U. nicht wie gewünscht bzw. propagiert stattfindet.

- Standardisierung und Ersatz:

Besonders schwierig ist die Frage der Planungssicherheit bei LED-Systemen. Durch die mangelnde Standardisierung ist es im Normalfall nicht einfach möglich, das „Leuchtmittel“ auszutauschen bzw. das Leuchtmittel eines anderen Herstellers einzusetzen, wie es bisher bei den Standardprodukten der Fall war.

Auch ist der Ersatz bei den meisten Produkten ungeklärt:

Ist das Leuchtmittel nach Ausfall der entsprechenden Lebensdauer austauschbar, oder muss die gesamte Leuchte entsorgt werden? Wie sieht es aus, wenn der Hersteller oder diese Produkttype nicht mehr existiert?

Durch die schnelle Entwicklung ist es zudem fraglich, ob man in der Zukunft eine Leuchte aus einer Produktreihe oder Ersatzteile zu dieser erhält. Sollte dies jedoch der Fall sein, ist meist ungeklärt, ob diese die gleichen Eigenschaften besitzt wie die bereits gekauften in Bezug auf Lichtleistung, Lichtfarbe oder auch spektrale Verteilung.

Die Angabe einer Lichtfarbe, beispielsweise warmweiß mit 3000 K, sagt nicht aus, dass zwei LED-Leuchten gleicher Lichtfarbe den gleichen Farbeindruck geben. Manche LED gehen mehr ins Gelbliche, andere ins Bläuliche, etc. Dies macht das Zusammenspiel und die Planung schwieriger.

5.3 Notwendigkeit und Wertigkeit einer Lichtplanung

Eine unabhängige Lichtplanung hat in der Praxis leider noch nicht den hohen Stellenwert wie beispielsweise eine Architektur- oder Elektroplanung. Die Realität zeigt, dass dieser Bereich eines Projektes sehr oft einem Konsulenten übertragen wird, der in diesem Fach kein Spezialist ist.

An den gezeigten Beispielen wird ersichtlich, welche positiven Auswirkungen die Beleuchtung durch Einsatz professioneller ingenieurtechnischer Überlegungen auf ein Projekt hat. Bei einer unprofessionellen Lichtplanung werden die verschiedenen Parameter unter Umständen nicht beachtet, und es werden auch „mehr Leuchten platziert und verkauft“ als notwendig, um die Normen zu erfüllen.

Der Vollständigkeit halber einige Faktoren, die bei der Lichtplanung zu beachten sind:

- Wünsche des Kunden/Auftraggebers
- Wünsche des Architekten
- Normen, Vorgaben und Sehaufgaben
- Design, Atmosphäre und Ästhetik
- Montagemöglichkeiten (Einbau, Aufbau, Abhängung)
- Raumdimensionen
- Tageslicht, Fenster und Lichtschächte, Schatten
- Budget
- Beleuchtungstechnologie (LED, Fluoreszenz, Halogentechnik,...)
- Lichtverteilung (15 °, 30 °, 45 °, oval, symmetrisch, wallwash)
- Lichteindruck, Farbwiedergabe, Farbgleichheit der Leuchten („Binning“)
- Blendung
- Elektrotechnische Vorgaben
- etc.

Es ist also möglich, dass ein „möglichst günstiges“ System gewählt wird, welches jedoch in der Erhaltung und Wartung sehr teuer kommt bzw. im nächsten Schritt (Ersatz) Schwierigkeiten verursacht. Auch muss ein teures System, welches eine moderne Technologie nutzt, nicht unbedingt das richtige für den gewählten Einsatzzweck sein.

5.4 Ausblick und Empfehlungen für Schulen und öffentliche Einrichtungen

Durch moderne, innovative Technologien und Lösungen kann man großen Einfluss auf verschiedene Faktoren nehmen, u.a. auch auf ökonomische. Dennoch entstehen durch die gegebenen Möglichkeiten auch Risiken, diese Technologien falsch einzusetzen oder nicht die richtigen/effizienten Systeme zu nutzen.

An den gezeigten Beispielen wird das Potenzial des richtigen Einsatzes einer ingenieurtechnischen Lichtplanung für Schulen oder andere Einrichtungen ersichtlich. Eine vernünftige Überlegung wäre es, beispielsweise einen Leitfaden mit Einbeziehung professioneller, unabhängiger Lichtplaner zu erstellen. Dieser Leitfaden sollte bei der Planung oder Änderung/Erweiterung von Schulgebäuden beachtet werden.

Hierzu könnte man typische Räume beschreiben und festhalten, auf welche Faktoren geachtet werden muss bzw. wie die Beleuchtung auszusehen hat. In einem weiteren Schritt könnte man auch Vorgaben zur Beleuchtungslösung, also zu den Leuchtentypen oder Systemen, machen.

Über Einsparungen von finanziellen Mitteln im Bereich der Beleuchtung würde Freiraum für andere, durchaus notwendige und sinnvolle Bereiche entstehen.

6 Zusammenfassung

An den gezeigten Beispielen kann man sehr deutlich erkennen, wie durch den intelligenten Einsatz ingenieurtechnischer Überlegungen Einfluss auf ökonomische, ökologische und technische Faktoren genommen werden kann.

Im Bereich der Beleuchtung lässt sich folgendes festhalten:

Die Beleuchtung ist im Arbeitsbereich ein stiller Diener, sie soll optimal auf unsere Bedürfnisse abgestimmt sein und sich sonst im Hintergrund halten, weder blenden noch auffallen. In diesem Bereich geht es uns um die optimale Erledigung der Arbeitsaufgabe. Wie ein guter Bürostuhl soll die Beleuchtung uns bei unseren Aufgaben helfen und uns die Arbeit erleichtern.

In Bereichen wie Hotels, Bars, Privatheimen, etc. dürfen auch die Leuchten in den Vordergrund treten. Sie können als „Leuchtkörper“, Dekorationsobjekte, etc. dienen, und es kann auch eine geringere Beleuchtung erwünscht sein, um eine angenehme Atmosphäre zu schaffen.

Durch fachliche, ingenieurtechnische oder ökonomische Überlegungen können positive Einflüsse auf verschiedene Faktoren ausüben werden, wie z.B.:

- Produktivität:

Durch den Einsatz optimaler Beleuchtung kann die Produktivität der Menschen gesteigert werden. Durch Systeme mit individuell einstellbarer Lichtfarbe kann der circadianische Rhythmus vorsichtig gelenkt werden. Zudem hilft eine optimale Beleuchtung dabei, Fehler und Unfälle zu minimieren.

- Wirtschaftlichkeit:

Wie klar dargelegt, hilft eine gute Lichtlösung bei der Einsparung von finanziellen Mitteln, die ein Betrieb oder eine Einrichtung für andere, sinnvollere Zwecke einsetzen kann. In einer Schule ist guter Unterricht das Ziel, Licht steht nicht im Vordergrund und sollte auch finanziell möglichst geringe Auswirkungen haben. Ist das Beleuchtungssystem für den Einsatzzweck optimiert, lassen sich neben den Anschaffungskosten auch Energie- und Wartungskosten senken.

- Innovation:

Vor allem für Betriebe, die innovative oder nachhaltige Lösungen als Leitlinie marketingtechnisch nutzen, ist die Beleuchtung eine weitere Möglichkeit, dies darzustellen. Moderne Beleuchtungslösungen sind steuerbar, passen sich der Tageszeit bzw. dem jeweiligen Einsatz an und können den Stresslevel senken. Solche Lösungen, aber auch der Motivation oder der Unterhaltung/Ablenkung z.B. über Farbwechsel dienen.

Literaturverzeichnis

Monographien:

Blanchard, O.; Illing, G.: Makroökonomie, 6. Auflage, Pearson Studium, 2014

Böhmer, E.: Elemente der angewandten Elektronik, 16. Auflage, Vieweg+Teubner Verlag, 2009

Däumler, K.-D.; Grabe, J.: Betriebliche Finanzwirtschaft, 10. Auflage, NWB Verlag, 2013

Däumler, K.-D.; Grabe, J.: Grundlagen der Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung, 13. Auflage, NWB Verlag, 2014

Däumler, K.-D.; Grabe, J.: Kostenrechnung 1, 11. Auflage, NWB Verlag, 2013

Däumler, K.-D.; Grabe, J.: Kostenrechnung 2, 10. Auflage, NWB Verlag, 2013

Däumler, K.-D.; Grabe, J.: Kostenrechnung 3, 9. Auflage, NWB Verlag, 2014

Dhillon, B.S.: Life Cycle Costing for Engineers, 1. Auflage, Crc Pr Inc Verlag, 2009

Friedl, B.: Kostenmanagement: Grundwissen der Ökonomik, 1. Auflage, UTB Verlag, 2009

Friedl, G.; Hofmann, C. ; Pedell, B.: Kostenrechnung, 2. Auflage, Vahlen Verlag, 2013

Geißdörfer, K.: Total Cost of Ownership (TCO) und Life Cycle Costing (LCC), LIT Verlag, 2009

Götze, U.: Investitionsrechnung: Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben, 7. Auflage, Springer Gabler, 2014

Götze, U.: Kostenrechnung und Kostenmanagement, 5. Auflage, Springer Gabler, 2010

Härdler, J. (Hrsg.): Betriebswirtschaftslehre für Ingenieure, 6. Auflage, Carl Hanser Verlag, 2016

Hutzschenreuter, T.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 6. Auflage, Springer Gabler, 2015

Illuminating Engineering Society (IES): Lighting Handbook, ies.org, 2012

Kremin-Buch, B.: Strategisches Kostenmanagement, 4. Auflage, Gabler Verlag, 2007

Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung, 14. Auflage, De Gruyter Oldenbourg, 2014

Pindyck, R.; Rubinfeld, D.: Mikroökonomie, 8. Auflage, Pearson Studium, 2013

Röhrenbacher, H.: Finanzierung und Investition, 3. Auflage, Linde Verlag, 2008

Schweiger, S.: Lebenszykluskosten optimieren: Paradigmenwechsel für Anbieter und Nutzer von Investitionsgütern, 1. Auflage, Gabler Verlag, 2009

Staehle, W.: Management, 8. Auflage, Vahlen Verlag, 1999

Stelling, J.: Kostenmanagement und Controlling, 3. Auflage, Oldenbourg Verlag München, 2009

Ulmann, P.: Licht und Beleuchtung: Handbuch und Planungshilfe, 1. Auflage, DOM Publishers, 2015

Normen und Fachbücher:

Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE): SLL Code for Lighting, cibse.org, 2012

Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE): SLL Lighting Handbook, cibse.org, 2009

Europäisches Komitee 047 – Optik und Lichttechnik: ÖNORM EN 12464-1 – Beleuchtung von Arbeitsstätten, Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen, Austrian Standards Institute, 2011

Europäisches Parlament und Europäischer Rat: Verordnung (EG) Nr. 1102/2008, bmlfuw.gv.at, 2008

United Nations: Minamata Convention on Mercury, treaties.un.org, 2013

Publikationen und Unterlagen:

Brechtken, D.; Heuer, A.: Projekt Komlicht – Ergebnisse der wissenschaftlichen Projektbegleitung der Umrüstung ausgewählter Räume im Schulzentrum, FH Trier, 2012

Gramm, S.: Energieeffiziente Beleuchtung unter Berücksichtigung von Tageslicht und verschiedenen Nutzeranforderungen, TU Berlin, 2015

Lindner, H.: Arbeitswissenschaften – Beleuchtung, Mittweida, 2015

Vandahl, C.; Bieske, K.; Neuhäuser, S.; Shierz, C.: Optimale Beleuchtung bei Schichtarbeit, TU Ilmenau, 2009

Fachzeitschriften:

Fördergemeinschaft Gutes Licht: Lichtwissen 01 – Die Beleuchtung mit künstlichem Licht, Licht.de, 2008

Fördergemeinschaft Gutes Licht: Lichtwissen 02 – Besser lernen mit gutem Licht, Licht.de, 2012

Fördergemeinschaft Gutes Licht: Lichtwissen 04 – Licht im Büro, Licht.de, 2012

Fördergemeinschaft Gutes Licht: Lichtwissen 17 – LED: Das Licht der Zukunft, Licht.de, 2010

Fördergemeinschaft Gutes Licht: Lichtwissen 19 – Wirkung des Lichts auf den Menschen, Licht.de, 2014

Zimmerman, C.: Einfluss von Licht auf Produktivität, Sicherheit, Gesundheit und Energieeinsparung, Teamwork-Arbeitsplatzgestaltung.de, 2009

McKinsey & Company: Lighting the way: Perspectives on the global lighting market, Second edition, mckinsey.com, 2012

Norris, G.A.: Integrating Life Cycle Cost Analysis and LCA. In: The International Journal of Life Cycle Assessment, 2001

Dokumentationen:

Mayr, C.: Bulb Fiction – der Film, bulbfiction-derfilm.com, 2011

Tsuchimoto, N.: Minamata: The Victims and Their World, Higashi Productions, 1971

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit, dass die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt wurde.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Wiener Neustadt, Mai 2016

Ing. Deshprim Krasniqi